Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU

FSC Fondo per lo Sviluppo e la Coesione

REGIONE CALABRIA

INVITALIA

SACAL SOCIETA' AEROPORTUALE CALABRESE

ENAC ENTE NAZIONALE PER L'AVIAZIONE CIVILE

Comune di Lamezia Terme

Comune di Gizzeria

Agenzia per la Coesione Territoriale

Presidenza del Consiglio dei Ministri – Ministro per gli Affari Europei, il Sud, le Politiche di Coesione e il PNRR

MINISTERO DELL'INTERNO

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica

MEF Ministero dell'Economia e delle Finanze

Mims Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

MINISTERO DEL TURISMO REPUBBLICA ITALIANA

SACAL

Società Aeroportuale Calabrese
Crotone, Lamezia Terme, Reggio Calabria

A.U. - Accountable Manager: Marco FRANCHINI
Post Holder Progettazione : ing. Stefania RAIMONDO
Post Holder Manutenzione: ing. Filippo MALAFARINA
Post Holder Terminal: dott.ssa Sabrina MILETO
RUP: Ing. Matteo MASTROIANNI
RSPP SACAL - EX D.LGS 81/08 :dott. Cristian RASO

RIQUALIFICA AMBIENTALE DELLA FASCIA NORD DELL'AEROPORTO CON REALIZZAZIONE DI PISTA CICLABILE PER LA VALORIZZAZIONE ECOSOSTENIBILE DELLA FASCIA COSTIERA (POLO DELLA VELA) E DEL LAGO LA VOTA

CIG: A0159668F5 CUP: H81D2200009002

Ambito di intervento: Trasporti e mobilità sostenibili – Fondi CIS scheda L05

PROGETTO ESECUTIVO

OPERE STRUTTURALI - OS1 ATTRAVERSAMENTO TORRENTE CASALE
Relazione geotecnica e sulle fondazioni

PROGETTISTI:

Mandataria

HYpro srl

Mandanti

CORFONE + PARTNERS studios for urban architecture
Ph.D. Arch. Cesare CORFONE

SGMadeo
Archeol. Simone Giosuè MADEO

TEAM DI LAVORO

Responsabile progettazione opere infrastrutturali V.02: **Ing. Michele SISINNO**

Responsabile progettazione opere strutturali S.04 - Resp.ITACA: **Ing. Maurizio CARUSO**

Responsabile progettazione opere impiantistiche IB.04: **Ing. Raffaele CIARDULLO**

Responsabile progettazione interventi naturalistici e paesaggistici P.01: **Arch. Cesare CORFONE**

Responsabile progettazione edile E.19 e E.20: **Arch. Cesare CORFONE**

Archeologo: **Archeol. Simone Giosuè MADEO**

Geologo: **Geol. Giuseppe CERCHIARO**

Direttore operativo Geologia: **Geol. Giovanni DE FAZIO**

Coordinatore per la sicurezza in fase di Progettazione:
Ing. Roberto NUCCI

Progettista e responsabile integrazioni e prestazioni specialistiche:
Ing. Daniele NUCCI

ORDINE INGEGNERI COSENZA
Ingegnere
DANIELE NUCCI
Laurea Specialistica
Sezione: A n. 6188
Settore Civile Ambientale

COMMITTENTE

S.A.CAL. S.p.A
Società Aeroportuale Calabrese
Via Aeroporto - 88046 Lamezia terme(CZ) ITALIA
Tel +39 0968-414212

PH Progettazione
Ing. Stefania RAIMONDO

PH Manutenzione
Ing. Filippo MALAFARINA

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Ing. Matteo MASTROIANNI

Approvazione ENAC

Approvazione ENTI

CODICE ELABORATO: PE_OS_01_REL_02_D

SCALA:

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Luglio 2025	PRIMA EMISSIONE	A. Voci	M. Caruso	D. Nucci
01	Luglio 2025	SECONDA EMISSIONE	A. Voci	M. Caruso	D. Nucci
02	Agosto 2025	TERZA EMISSIONE	A. Voci	M. Caruso	D. Nucci
03	Settembre 2025	QUARTA EMISSIONE	A. Voci	M. Caruso	D. Nucci

INDICE

1 PREMESSA 3
1.1 Descrizione dell'opera 3
1.1.1 Sottostruttura 3
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 4
3 MATERIALI 5
3.1 Calcestruzzi 5
3.2 Acciaio 5
3.3 Legno 6
4 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI 6
5 ANALISI DEI CARICHI 7
6 COMBINAZIONI DI CARICO 13
7 MODELLAZIONE STRUTTURALE 15
7.1 Schema statico 15
7.2 Carichi sulla sottostruttura 17
7.2.1 Sollecitazioni su dispositivi di appoggio – massimo inviluppo SLU 18
7.2.2 Sollecitazioni su dispositivi di appoggio – massimo inviluppo SLV 18
7.2.3 Sollecitazioni su dispositivi di appoggio – massimo inviluppo SLE Frequente 19
7.2.4 Sollecitazioni su dispositivi di appoggio – massimo inviluppo SLE Quasi permanente 19
7.2.5 Sollecitazioni su dispositivi di appoggio – massimo inviluppo SLE Rara 20
8 DIAGRAMMI SOLLECITAZIONI 21
9 DATI IN INPUT 29
9.1 Scenari di calcolo 29
9.2 Nodi – Geometria e vincoli 36
9.3 Nodi – Carichi 36
9.4 Platea e muri – Geometria e vincoli 37
9.5 Pali – Geometria e vincoli 37
10 SOLLECITAZIONI 37
10.1 Pali - Sollecitazioni 37
10.2 Platea – Tensioni del terreno 38
11 LIQUEFAZIONE 45
11.1 SPOSTAMENTI NODALI 45
11.1.1 Cedimenti in combinazione sismica 45

11.1.2 Cedimenti in condizione post-sismica 47
12 VERIFICHE GEOTECNICHE – PALI DI FONDAZIONE 50
13 VERIFICHE GEOTECNICHE – PLATEA 56
14 VALIDAZIONE DEI PROGRAMMI DI CALCOLO 68
14.1 Tipo di analisi svolta 68
14.2 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo 69
14.3 Affidabilità dei codici di calcolo 69
14.4 Modalità di presentazione dei risultati 69
14.5 Informazioni generali sull'elaborazione 69
14.6 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati 70

1 PREMESSA

1.1 Descrizione dell'opera

La presente relazione è relativa ai lavori di "RIQUALIFICA AMBIENTALE DELLA FASCIA NORD DELL'AEROPORTO CON REALIZZAZIONE DI PISTA CICLABILE PER LA VALORIZZAZIONE ECOSOSTENIBILE DELLA FASCIA COSTIERA (POLO DELLA VELA) E DEL LAGO LA VOTA" e riporta i risultati del calcolo e le verifiche di tipo geotecnico sulla fondazione e sui pali.

Lo scenario dello stato di progetto (SP) prevede la realizzazione dell'attraversamento in prossimità della progressiva chilometrica 2+600 del tracciato della pista ciclabile.

La sottostruttura dell'attraversamento sarà costituita da spalle e muri andatori poggianti su una fondazione a platea su pali. Le opere geotecniche (platea, pali, spalle, muri andatori) saranno realizzate in c.a. con calcestruzzo di classe C32/40 e acciaio B450C. L'estradosso dell'attraversamento raggiunge una quota di +4.85 m.s.l.m., mentre l'intradosso si trova a una quota di +2.15 m.s.l.m.

L'accesso alla pista ciclabile sarà garantito da due rampe di accesso poggianti su strutture tipo gabbione plastificato e rinverdito mediante tasche vegetative.

1.1.1 Sottostruttura

Le opere geotecniche a sostegno della sovrastruttura si identificano in due spalle in c.a. poggianti su una fondazione a platea di spessore 80cm su pali di diametro 100cm con profondità 15m. Al fine di contenere il terreno di riempimento si realizzeranno due muri andatori di spessore pari a 30cm. Si riporta di seguito uno schema esplicativo della struttura oggetto della seguente relazione.

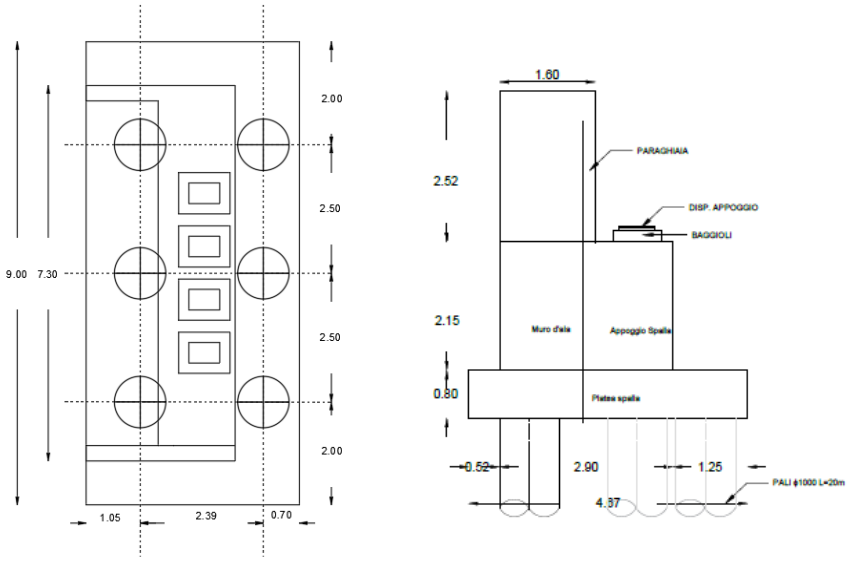


Figura 1 - Opere geotecniche

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta tenendo in conto la seguente normativa:

- DM 17/01/2018	"Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"
- Circolare CIRCOLARE 21 gennaio 2019 , n. 7 C.S.LL.PP.Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. 02/02/2009 n. 617/C.S.LL.PP.	Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17/01/2018
- UNI EN 1990 (Eurocodice 0) – Aprile 2006	Criteri generali di progettazione strutturale
- UNI EN 1991-2-4 (Eurocodice 1) – Agosto 2004	Azioni in generale: "Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici"
- UNI EN 1991-1-1 (Eurocodice 1) – Agosto 2004	Azioni in generale- Parte 1-1: "Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici"
- UNI EN 1991-2 (Eurocodice 1) – Marzo 2005	Azioni sulle strutture- Parte 2: "Carico da traffico sui ponti"
- UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) – Novembre 2005	Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: "Regole generali e regole per gli edifici
- UNI EN 1992-2 (Eurocodice 2) – Gennaio	Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2:

2006	"Ponti in calcestruzzo - progettazione e dettagli costruttivi
- UNI EN 1993-1-1 (Eurocodice 3) – Ottobre 1993	Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- UNI EN 1997-1 (Eurocodice 7) – Febbraio 2005	Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- UNI EN 1998-1 (Eurocodice 8) – Marzo 2005	Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali – Azioni sismiche e regole per gli edifici
- UNI EN 1998-2 (Eurocodice 8) – Febbraio 2006	Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005	Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- UNI EN 197-1 giugno 2001	Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni
- UNI EN 11104 marzo 2004	Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità", Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1
- UNI EN 206-1 ottobre 2006	Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità

3 MATERIALI

Per le opere di nuova realizzazione di seguito si riportano i materiali previsti in progetto:

3.1 Calcestruzzi

Per la realizzazione delle opere in progetto vengono utilizzati i seguenti materiali:

- Pali di fondazione: calcestruzzo di classe di resistenza **C32/40**
- Fondazione ed elevazione spalle: calcestruzzo di resistenza **C32/40**
- Solette e cordoli: calcestruzzo di classe di resistenza **C32/40**

3.2 Acciaio

Acciaio per armatura lenta

Per le armature lente viene utilizzato un acciaio del tipo **B450C,** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- $f_{t,k}$ = 540 N/mm^2 (resistenza caratteristica a rottura)

- $f_{y,k}$ = 450 N/mm^2 (tensione caratteristica di snervamento)
- $f_{y,d}$ = 373,9 N/mm^2 (tensione di snervamento di calcolo - γ_c=1,15)
- E_s = 200.000 N/mm^2 (modulo elastico istantaneo)

3.3 Legno

Le travi e i traversi della struttura saranno realizzati in legno lamellare GL28H, con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- $f_{m,g,k}$ = 28 N/mm^2 (resistenza a flessione)
- $f_{t,0,g,k}$ = 22,3 N/mm^2 (resistenza a trazione)
- $f_{c,0,g,k}$ = 26 N/mm^2 (resistenza a compressione)
- $G_{0,g,mean}$ = 650 N/mm^2 (modulo di taglio)
- $E_{0,g,mean}$ = 12600 N/mm^2 (modulo elastico)
- $P_{g,mean}$ = 460 kg/m^3 (valore medio della densità)

4 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Per la verifica della capacità portante dei pali e della platea di fondazione si è fatto riferimento alle stratigrafie di terreno e relative caratteristiche dei valori geotecnici meglio specificati nell'allegata relazione geologica.

Si riporta il modello geologico.

UNITÀ GEOTECNICHE		
Unità litotecnica	**Profondità (m)**	**Descrizione unità**
UNITÀ 1	0.00 – 9.00÷11	Sabbia grossolana limosa da poco a moderatamente addensata
UNITÀ 2	9.00÷11– 20.00 *	Sabbia grossolana più addensata

Figura 2 - Unità geotecniche

UNITA 1:

- *Peso di volume* γ = *1.70-1.9 t/m^3*
- *Angolo di attrito* ϕ = *29-32°*
- *Coesione* c' = *1.00-1.50 Kpa*

<u>UNITA 2</u>:

- *Peso di volume* γ = *1.8-1.95 t/m³*
- *Angolo di attrito* ϕ = *32-35°*
- *Coesione* c' = *0.5-1.0 Kpa*

La falda è stata individuata a circa **0.50 m** dal piano campagna

La categoria topografica del sito oggetto d'intervento è **T1**;

Gli spessori dei litotipi rilevati, in accordo con l'indagine sismica (M.A.S.W.) indicano, per l'opera in studio, un suolo di categoria **"C"** (O.P.C.M. 3274/2003 e D.M. 17 gennaio 2018).

COSTANTE DI WINKLER: A vantaggio di sicurezza, per massimizzare le sollecitazioni in fondazione, è stato coinsiderato un coefficiente pari a 2.93 Kg/cm^3

Di cui si riporta di seguito una tabella dei valori di riferimento da valori acclamati di letteratura per una sabbia limosa mediamente compatta.

Terreno	Valore minimo	Valore massimo
Sabbia sciolta	0.48	1.60
Sabbia mediamente compatta	0.96	8.00
Sabbia compatta	6.40	12.80
Sabbia argillosa mediamente compatta	2.40	4.80
Sabbia limosa mediamente compatta	2.40	4.80
Sabbia e ghiaia compatta	10.00	30.00
Terreno argilloso con qu< 2 Kg/cm²	1.20	2.40
Terreno argilloso con 2< qu< 4 Kg/cm²	2.20	4.80
Terreno argilloso con qu> 2 Kg/cm²	>4.80	

Figura 3 -1 costante di winkler per i diversi terreni espressi in Kg/cm³

5 ANALISI DEI CARICHI

Si calcola l'opera sottoposta alle azioni indotte da:

- peso proprio delle strutture in c.a.
- carichi permanenti portati
- spinta terreno
- ritiro del calcestruzzo e concomitanti effetti viscosi
- effetti termici
- azioni del vento
- azione della neve
- azioni sismiche

Tali azioni saranno combinate secondo le prescrizioni della normativa vigente.

Carichi permanenti

I carichi permanenti sono costituiti dai pesi propri delle strutture portanti e delle sovrastrutture. Si valutano moltiplicando il volume calcolato geometricamente per i pesi specifici dei materiali.

Peso proprio delle strutture in calcestruzzo e calcestruzzo

Il peso proprio delle strutture in c.a. viene attribuito automaticamente dal programma di calcolo. Il peso per unità di volume dell'acciaio è assunto pari a 2500 kg/m^3.

Peso proprio della soletta

Lo spessore della soletta è assunto pari a 15 cm (compreso delle predalles). Assunto il peso per unità di volume del cemento armato pari a 2500 kg/m^3, il peso per unità di superficie della soletta vale pertanto:

$peso_{_getto.soletta}$ = 0,15 x 2500 = 375 kg/m^2

Pavimentazione stradale

Il peso per unità di volume della pavimentazione stradale è assunto pari a 1800,0 kg/m3.

Peso della barriera guard-rail e parapetto anticaduta

Il peso del parapetto anticaduta è fissato pari a 100 kg/m.

Spinta del terreno

La spinta delle terre sui setti è calcolata in condizione statica ed in condizioni sismiche per le quali si utilizza la formulazione di Coulomb in condizioni di spinta attiva.

Si riporta di seguito il valore della pressione del terreno agente sulle spalle e sui muri andatori.

γ [kg/m3]	1700
ϕ [°]	29
ϕ [rad]	0,506145483
ka	0,346974031
h [m]	4,17
p [kg/m2]	1229,849454

Effetti reologici

Sono stati considerati gli effetti reologici (ritiro e viscosità) sull'impalcato in c.a. in relazione alle fasi di getto e tenendo in conto anche la curva di maturazione del calcestruzzo.

Carichi accidentali

Carichi da folla

Il carico accidentale da folla viene valutato secondo lo schema n. 5 riportato nel D.M. 17.01.2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 5.1.3.3.3.

Schema di Carico 5: costituito dalla folla compatta, agente con intensità nominale, comprensiva degli effetti dinamici, di 5,0 kN/m². l carico folla deve essere applicato su tutte le zone significative della superficie di influenza, inclusa l'area dello spartitraffico centrale, ove rilevante.

Azione del vento

La pressione massima del vento è pari a **102,80 kg/m²**.

Per quanto riguarda l'impalcato, il carico del vento è stato considerato agente sulle travi di bordo dell'impalcato effettuando la scomposizione della pressione del vento in accordo alla "*CNR_DT_207_r1_2018 - Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni*".

L'azione del vento, agente in direzione orizzontale e ortogonale dall'asse dell'impalcato, genera nel piano della sezione un sistema di forze aereodinamiche per unità di lunghezza:

- una forza parallela alla direzione del vento f_x
- una forza verticale f_y
- un momento intorno alla linea d'asse m_z.

Si ripoprta di seguito una tabella riepilogativa delle calcolazioni svolte

Vento q_s - NTC §3.3						
ρ	1,25	[kg/m³]		h_{trave}	2,12	[m]
$v_{b,0}$	27	[m/s]		h_{muri}	2,5	[m]
k_s	0,37			$h_{appoggio+baggiolo+neoprene}$	0,85	[m]
a_0	500	[m]		$h_{soletta}$	0,15	[m]
c_a	1	as<a0		h_{tot}	5,62	[m]
Tr	100	anni		$\bar{z}$	3,66	[m]
c_r	1,063					
v_b	27,000	[m/s]				
v_r	28,691	[m/s]				
q_r	0,514	[kN/m²]				
Classe rugosità D; categoria esposizione sito II						
Da tab. 3.3.II						
k_r	0,19					
z_0	0,05	[m]				
z_{min}	4	[m]				
C_e	2,00					
p	1,028	[kN/m²]				
d/htot	0,73					
c_{fx}	2,424		**f_x**	14,002	[kN/m]	
c_{fy} +-	0,773309609		**f_y**	3,275	[kN/m]	
c_{mz} +-	0,2		**m_z**	3,490	[kN*m/m]	

Tali azioni sono quantificate mediante una coppia di coefficienti di forza c_{fx}, c_{fy} e un coefficiente di momento c_{mz}.

Si considerano, per il caso in esame, le seguenti azioni aereodinamiche:

- $f_x = 14 \frac{kN}{m}$
- $f_y = 3{,}27 \frac{kN}{m}$
- $m_z = 3{,}49 \frac{kNm}{m}$

Neve

Il carico neve assunto è pari a **40,80 kg/m²**.

Neve q_5 - NTC §3.4		
μ	0,8	§3.4.3
C_e	1	§3.4.4
C_t	1	§3.4.5
q_{sk}	0,511	
q_5	0,408705391	[kN/m²]

Effetti termici

Gli effetti termici sono stati valutati in accordo al D.M. 17/01/2018, pertanto è stata applicata una variazione termica pari a ±20°C.

Azioni della temperatura - NTC18 § 3.5		
Zona IV		
T_{max}	41,96	[°C]
T_{min}	-2,18	[°C]
Impalcato a struttura composta: Tipo 2		
Δtu	20	[°C]

Azioni sismiche

La valutazione delle azioni sismiche è stata effettuata attraverso un'analisi dinamica con tecnica modale e spettro di progetto:

- Ubicazione struttura: Calabria, Comune di Lamezia Terme
- Vita nominale della struttura: 100 anni;
- Classe d'uso della struttura: II – coefficiente C_U = 1.0
- Categoria superficie topografica T1
- Categoria di sottosuolo C
- Coefficiente di struttura per direzione orizzontale q=1.5
- Coefficiente di struttura per direzione verticale q=1.0

Ai fini della stima dell'azione sismica locale e per la determinazione dello spettro di risposta elastico è stato preso in considerazione un punto medio con le seguenti coordinate:

WGS84

Lat: 38.934983

Lon: 16.201016

Di seguito si riportano gli spettri di progetto ai diversi stati limite. Trattandosi di un'opera in classe d'uso II, in ottemperanza alle N.T.C. 18 vengono utilizzati gli spettri da Normativa.

Tabella dei parametri riferiti ai 4 stati limite:

Stati limite	T_R [anni]	ag [g]	Fo [-]	TC* [s]
SLO	30	0,06696	2,30306	0,28372
SLD	50	0,08896	2,28544	0,30616
SLV	475	0,25737	2,43082	0,37131
SLC	975	0,34520	2,46153	0,40287

Spettri di risposta elastica in accelerazione orizzontale per i 4 stati limite

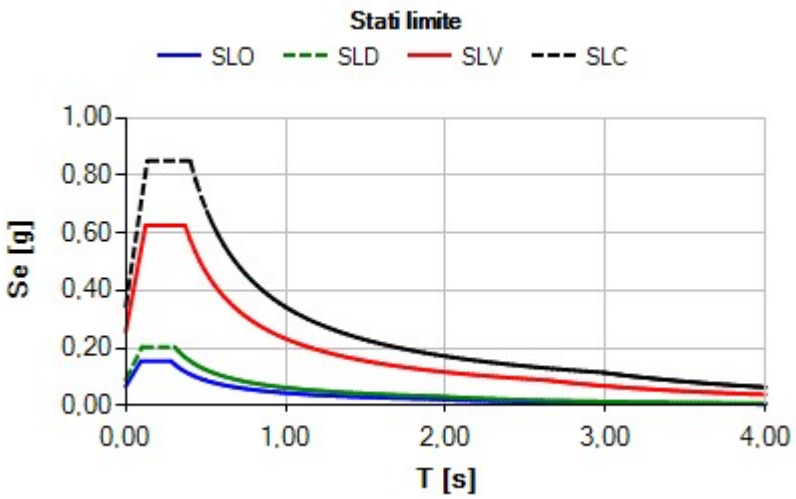


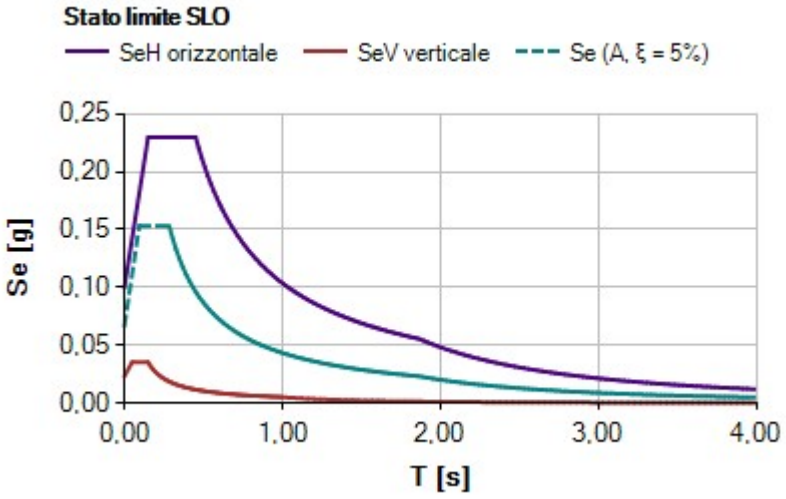
Figura 4 - Spettri di risposta elastica orizzontali per i diversi stati limite

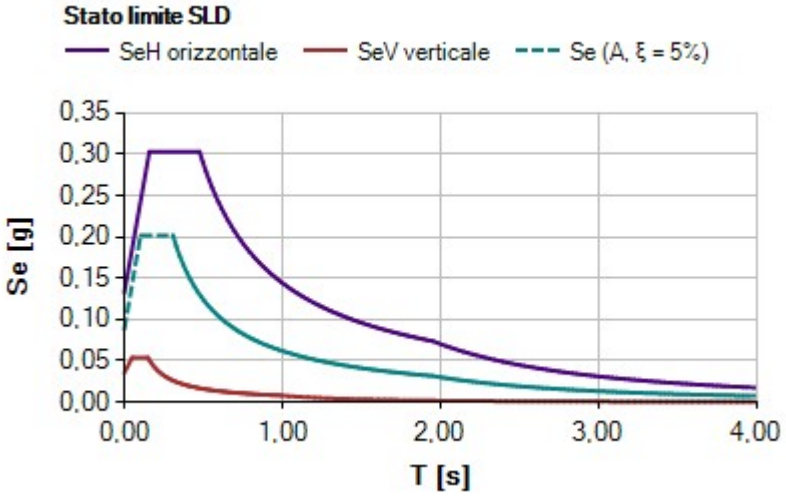
Parametri di progetto per la componente verticale:

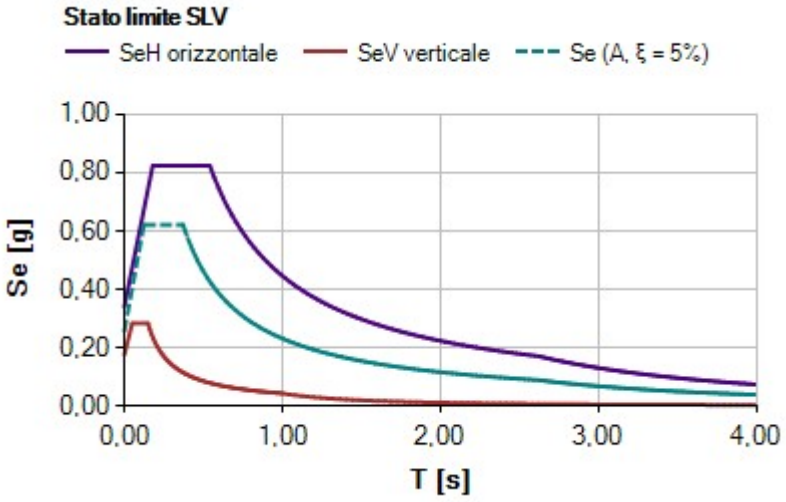
S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica, S_T = coefficiente di amplificazione topografica, S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, Fv = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno ag su sito di riferimento rigido orizzontale, agv = accelerazione massima verticale.

Stati limite	S_S	S_T	S	Fv [-]	agv [g]
SLO	1,000	1,000	1,000	0,80257	0,80257
SLD	1,000	1,000	1,000	0,91768	0,91768
SLV	1,000	1,000	1,000	1,65933	1,65933
SLC	1,000	1,000	1,000	1,94348	1,94348

Spettri di progetto


Stato limite SLO
SeH orizzontale
SeV verticale
Se (A, ξ = 5%)
Se [g]
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
T [s]


Stato limite SLD
SeH orizzontale
SeV verticale
Se (A, ξ = 5%)
Se [g]
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
T [s]


Stato limite SLV
SeH orizzontale
SeV verticale
Se (A, ξ = 5%)
Se [g]
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
T [s]

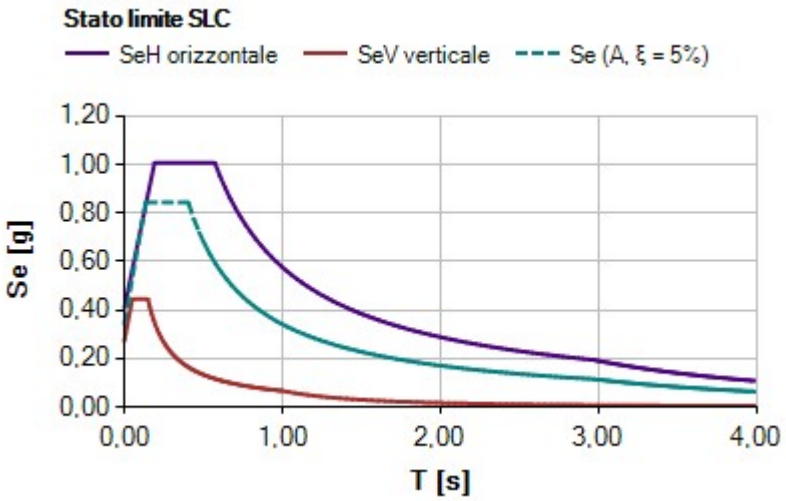


Figura 4 - Spettri di risposta elastica verticali per i diversi stati limite

6 COMBINAZIONI DI CARICO

Facendo riferimento a quanto prescritto dalle NTC 2018 si sono considerate varie combinazioni di carico tali da massimizzare tutte le azioni variabili e permanenti. Di seguito si riporta quanto definito nel capitolo 2 di tale norma.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):
  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.1]
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:
  $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.2]
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:
  $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.3]
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:
  $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.4]
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:
  $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \ldots$ [2.5.5]
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:
  $G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \ldots$ [2.5.6]

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$. [2.5.7]

Per i coefficienti di combinazione γ e ψ si fa riferimento a quanto descritto al capitolo 5:

Tab. 5.2.V - *Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU*

Coefficiente			EQU[1]	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1}	0,90 1,10	1,00 1,35	1,00 1,00
Azioni permanenti non strutturali[2]	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
Ballast[3]	favorevoli sfavorevoli	γ_B	0,90 1,50	1,00 1,50	1,00 1,30
Azioni variabili da traffico[4]	favorevoli sfavorevoli	γ_Q	0,00 1,45	0,00 1,45	0,00 1,25
Azioni variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_{Qi}	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
Precompressione	favorevole sfavorevole	γ_P	0,90 1,00[5]	1,00 1,00[6]	1,00 1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole sfavorevole	γ_{Ced}	0,00 1,20	0,00 1,20	0,00 1,00

[1] Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

[2] Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
[3] Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
[4] Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
[5] 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
[6] 1,20 per effetti locali

Nella Tab. 5.2.V il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
γ_B coefficiente parziale del peso proprio del ballast;
γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili
γ_P coefficiente parziale delle azioni di precompressione
γ_{Ced} coefficiente parziale delle azioni di ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente.

Tab. 5.2.VI - *Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni*

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	gr_1	0,80[2]	0,80[1]	0,0
Gruppi di	gr_2	0,80[2]	0,80[1]	-
carico	gr_3	0,80[2]	0,80[1]	0,0
	gr_4	1,00	1,00[1]	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

[1] 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.
[2] Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

7 MODELLAZIONE STRUTTURALE

7.1 Schema statico

Il modello della struttura di fondazione e delle spalle del ponte è stato implementato sul software IperspaceBIM 3.0.1. Si riportano di seguito le immagini esplicative del modello.

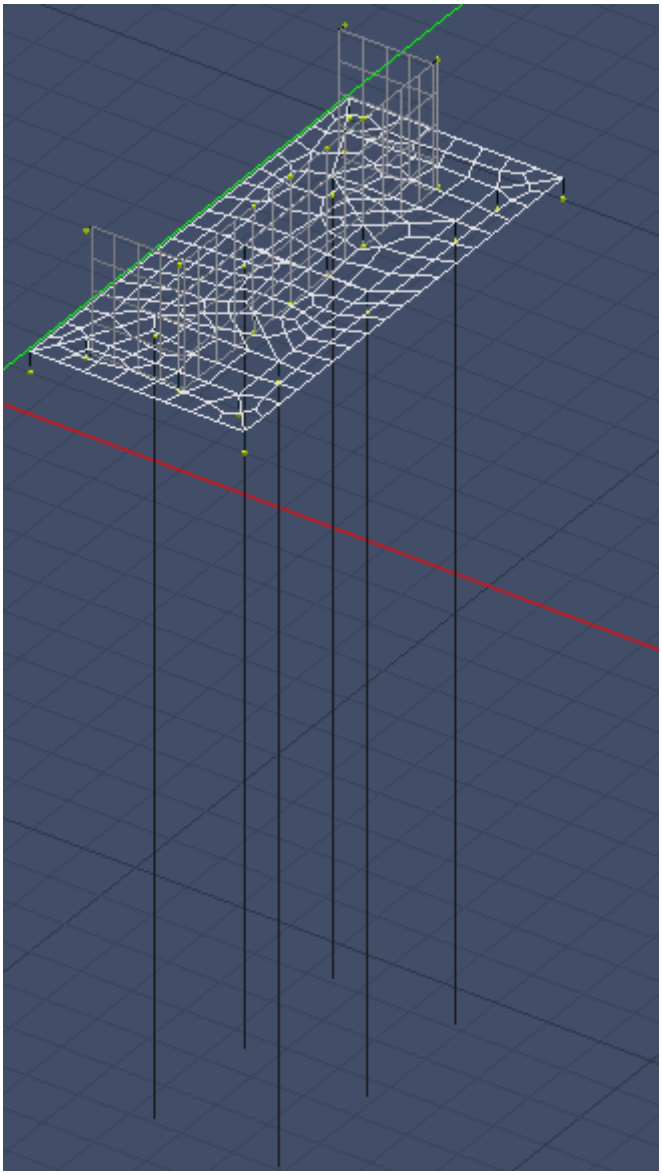


Figura 5 - Modellazione F.E.M. wireframe

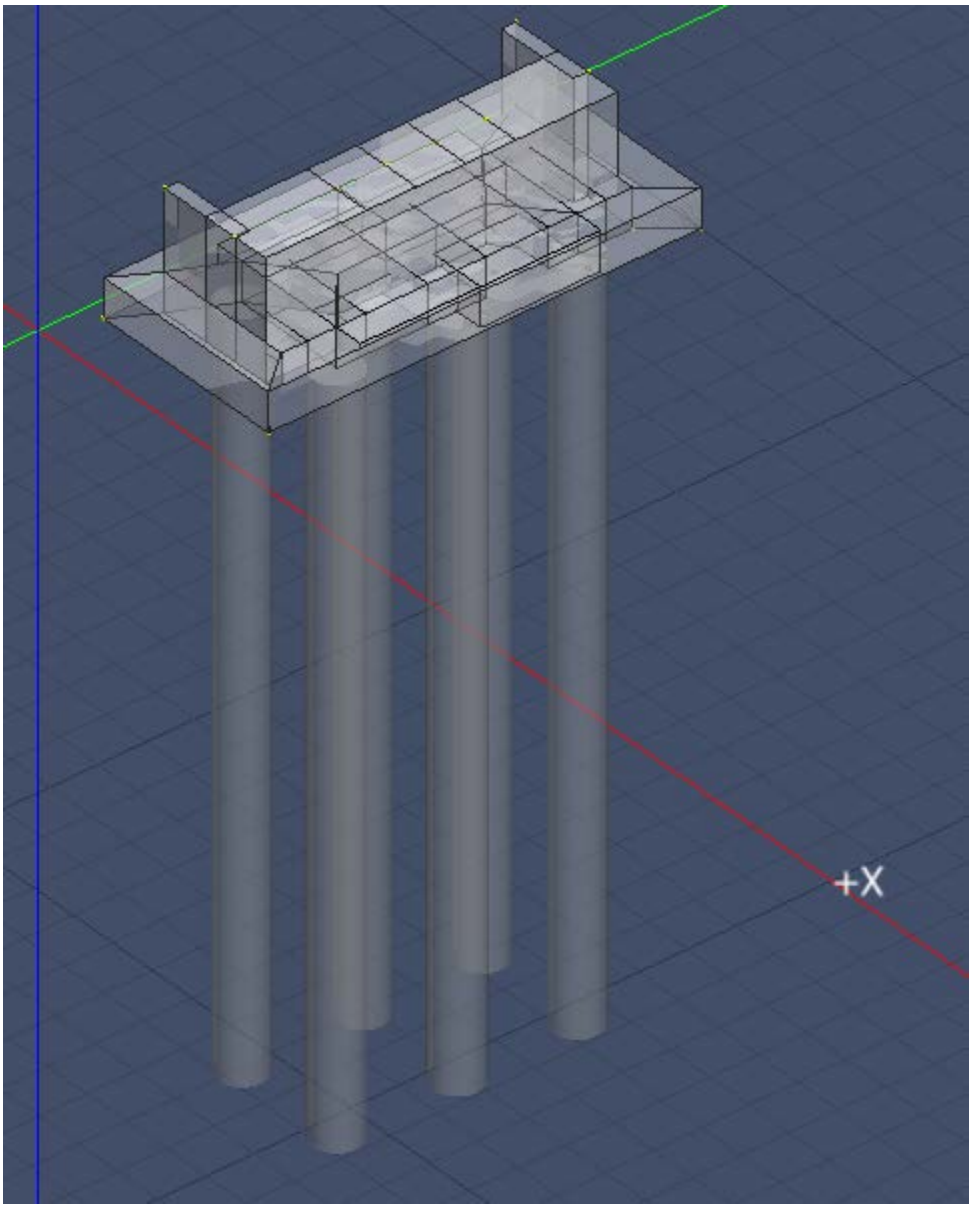


Figura 6 - Modellazione F.E.M. 3D

7.2 Carichi sulla sottostruttura

La struttura in elevazione è collegata alle spalle mediante appoggi in neoprene i quali permettono il trasferimento degli scarichi dall'impalcato alle opere di sostegno, dunque il modello delle spalle e della fondazione è stato verificato considerando gli scarichi derivanti dall'impalcato, oltre che la spinta del terreno.

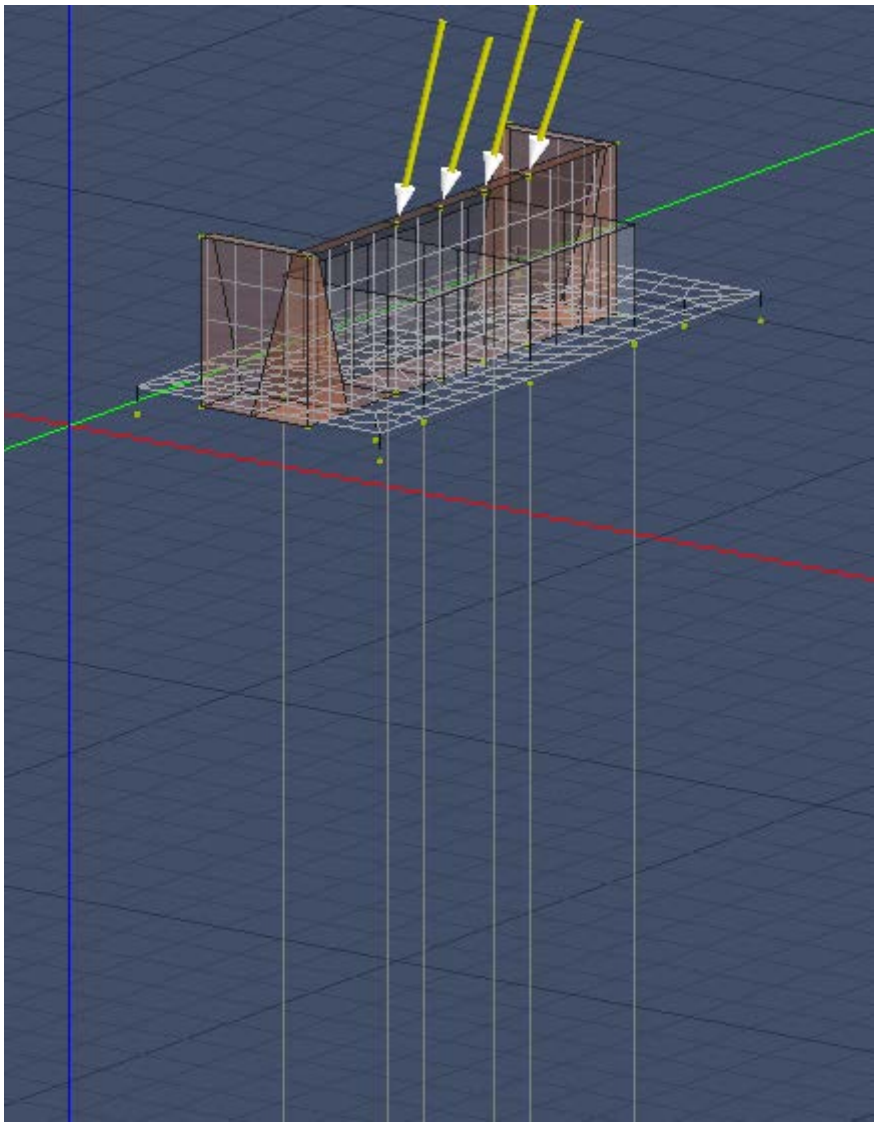


Figura 7 - Schema di carico delle spalle

Si riportano, di seguito, gli scarichi dell'impalcato per le diverse combinazioni di carico (SLU, SLV, SLE_Rara, SLE_Quasi Permanente, SLE_Frequente)

7.2.1 Sollecitazioni su dispositivi di appoggio – massimo inviluppo SLU

Appoggio 1	
N(kgf)	-10737,5
T(kgf) trasversale	4782,44
T(kgf) longitudinale	36904,86

Appoggio 2	
N(kgf)	-10334,3
T(kgf) trasversale	5336,23
T(kgf) longitudinale	45197,76

Appoggio 3	
N(kgf)	-10020,1
T(kgf) trasversale	5538,52
T(kgf) longitudinale	40935,09

Appoggio 4	
N(kgf)	-9945,9
T(kgf) trasversale	4766,55
T(kgf) longitudinale	50329,02

7.2.2 Sollecitazioni su dispositivi di appoggio – massimo inviluppo SLV

Appoggio 1	
N(kgf)	3638,88
T(kgf) trasversale	0,33
T(kgf) longitudinale	16793,55

Appoggio 2	
N(kgf)	3702
T(kgf) trasversale	52,8
T(kgf) longitudinale	19090,92

Appoggio 3	
N(kgf)	3702,52
T(kgf) trasversale	52,82
T(kgf) longitudinale	19091,01

Appoggio 4

N(kgf)	3639,34
T(kgf) trasversale	-0.31
T(kgf) longitudinale	16793,6

7.2.3 Sollecitazioni su dispositivi di appoggio – massimo inviluppo SLE Frequente

Appoggio 1	
N(kgf)	5888,82
T(kgf) trasversale	17,63
T(kgf) longitudinale	28886,81

Appoggio 2	
N(kgf)	6003,18
T(kgf) trasversale	-52,8
T(kgf) longitudinale	33546,17

Appoggio 3	
N(kgf)	6003,43
T(kgf) trasversale	98,11
T(kgf) longitudinale	33546,26

Appoggio 4	
N(kgf)	5889,59
T(kgf) trasversale	24,26
T(kgf) longitudinale	28886,87

7.2.4 Sollecitazioni su dispositivi di appoggio – massimo inviluppo SLE Quasi permanente

Appoggio 1	
N(kgf)	3682,82
T(kgf) trasversale	0,33
T(kgf) longitudinale	17029,74

Appoggio 2	
N(kgf)	3747,22
T(kgf) trasversale	-52,8
T(kgf) longitudinale	19373,25

Appoggio 3	
N(kgf)	3747,46

T(kgf) trasversale	53,69
T(kgf) longitudinale	19373,34

Appoggio 4	
N(kgf)	3683,59
T(kgf) trasversale	-0,18
T(kgf) longitudinale	17029,8

7.2.5 Sollecitazioni su dispositivi di appoggio – massimo inviluppo SLE Rara

Appoggio 1	
N(kgf)	5888,82
T(kgf) trasversale	3188,33
T(kgf) longitudinale	30219,21

Appoggio 2	
N(kgf)	6003,18
T(kgf) trasversale	3552,21
T(kgf) longitudinale	36746,42

Appoggio 3	
N(kgf)	6003,43
T(kgf) trasversale	3712,06
T(kgf) longitudinale	33904,65

Appoggio 4	
N(kgf)	5889,59
T(kgf) trasversale	3179,82
T(kgf) longitudinale	39168,65

8 DIAGRAMMI SOLLECITAZIONI

Si riportano i diagrammi delle sollecitazioni e delle tensioni agenti sulle spalle e sulla fondazione.

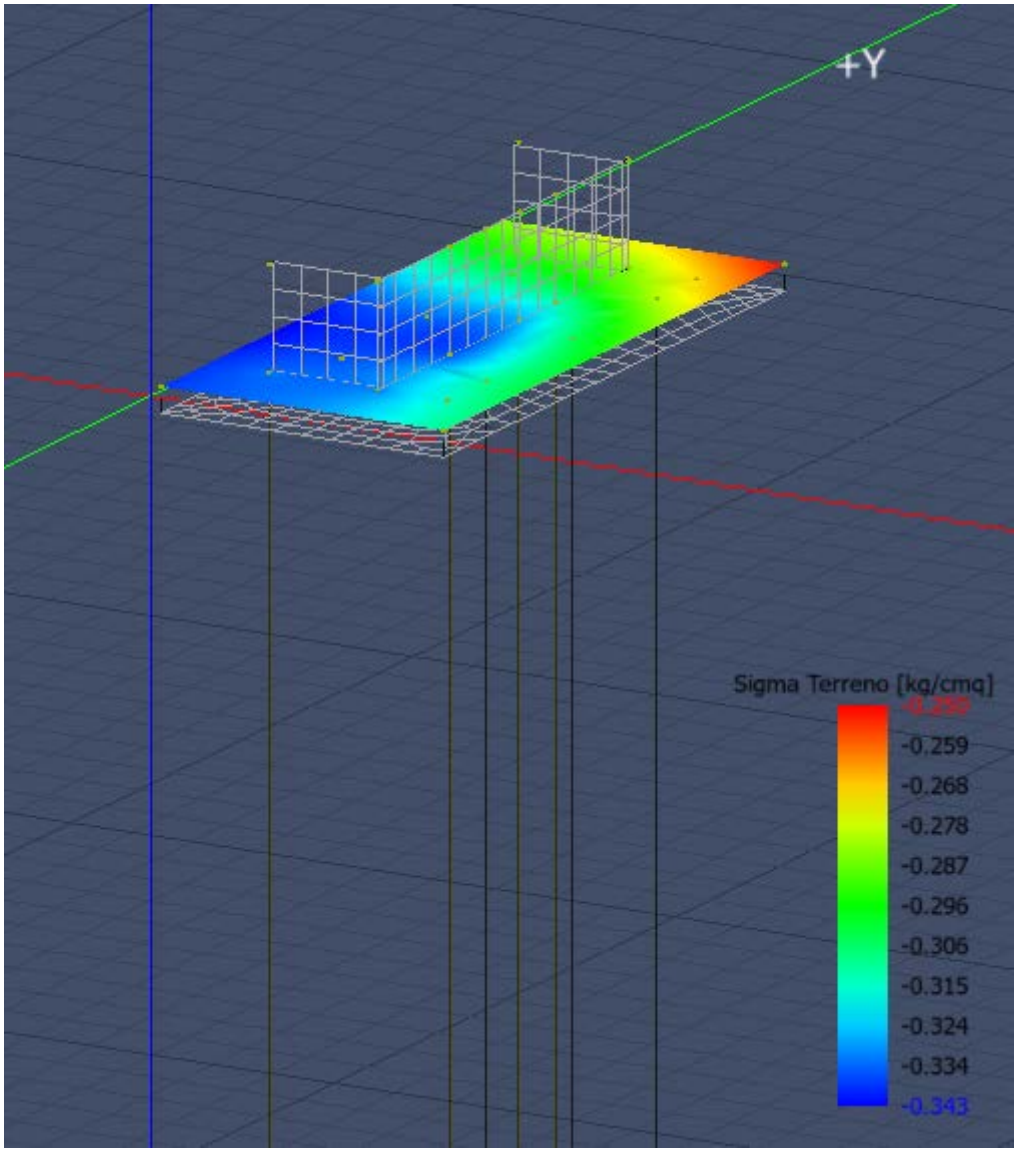


Figura 8 - Tensioni sul terreno

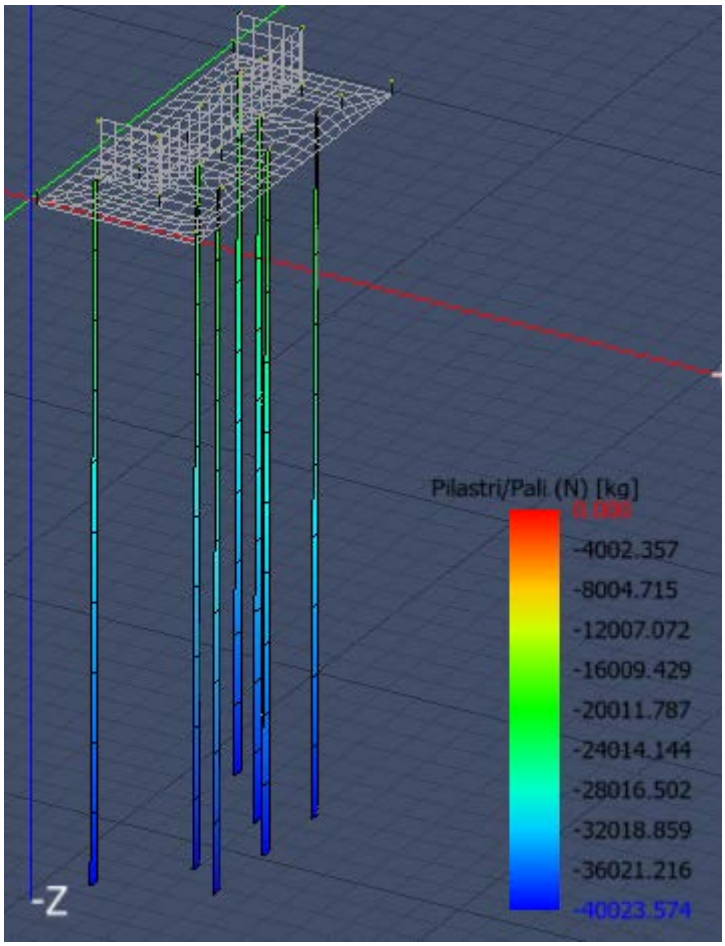


Figura 9 - Inviluppo sforzo normale sui pali

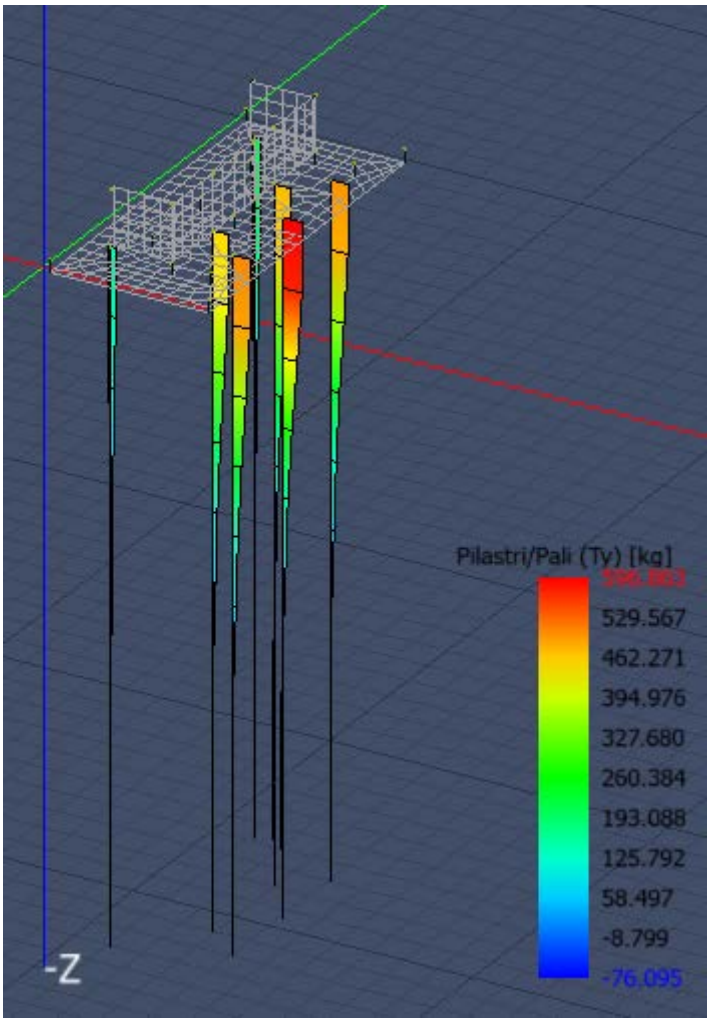


Figura 10 - Inviluppo taglio Ty sui pali

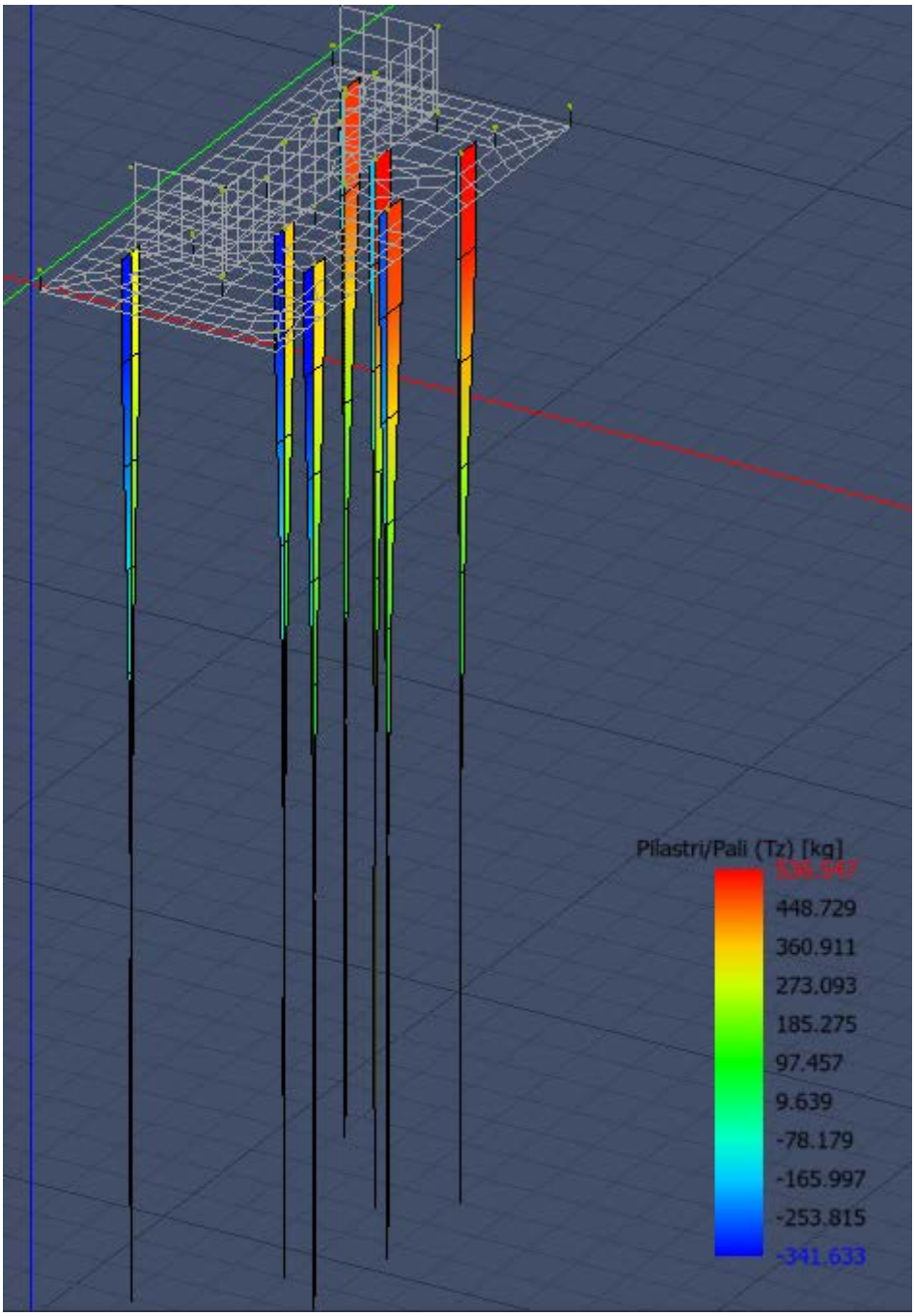


Figura 11 - Inviluppo taglio Tz sui pali

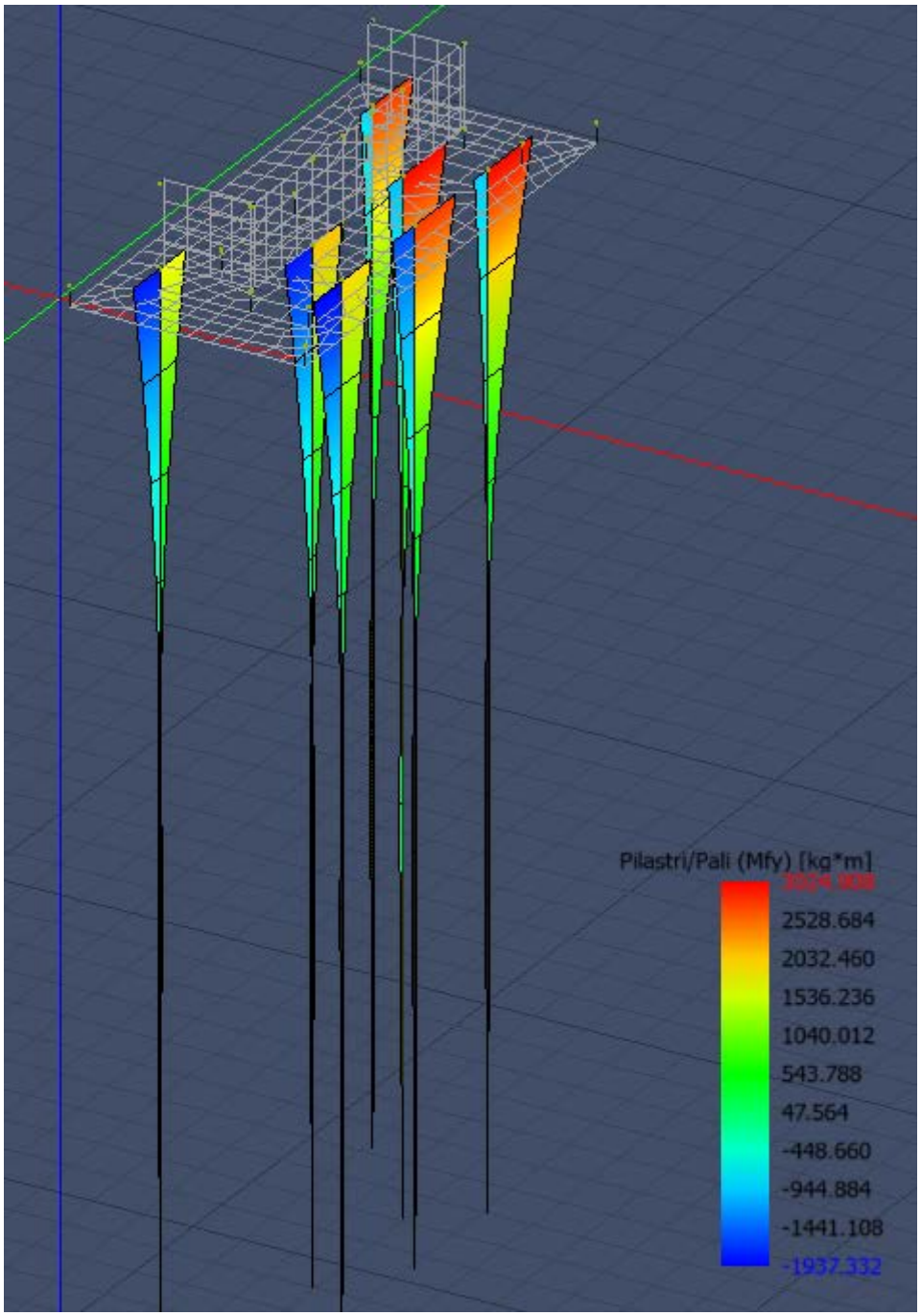


Figura 12 - Inviluppo momento flettente Mfy sui pali

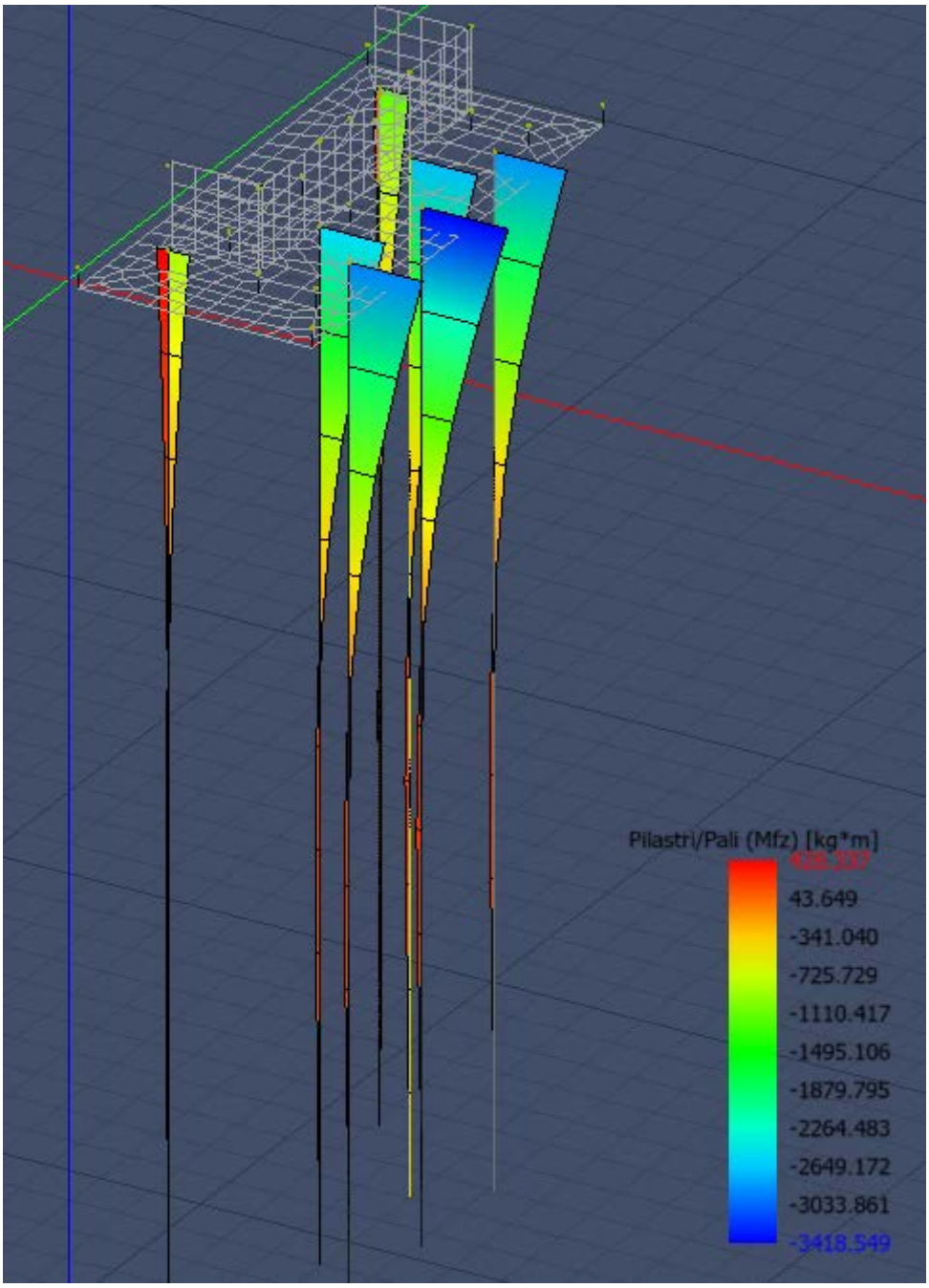


Figura 13 - Inviluppo momento flettente Mfz sui pali

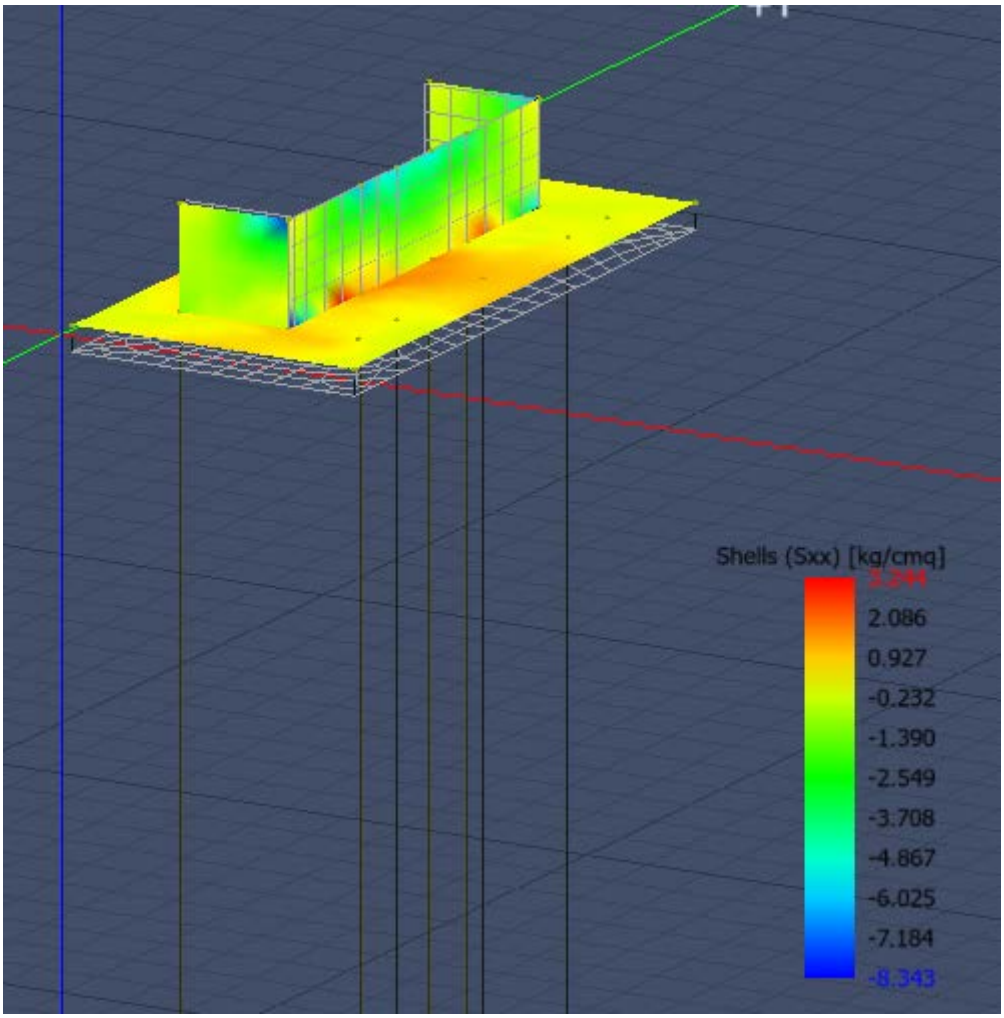


Figura 14 - Tensioni Sxx

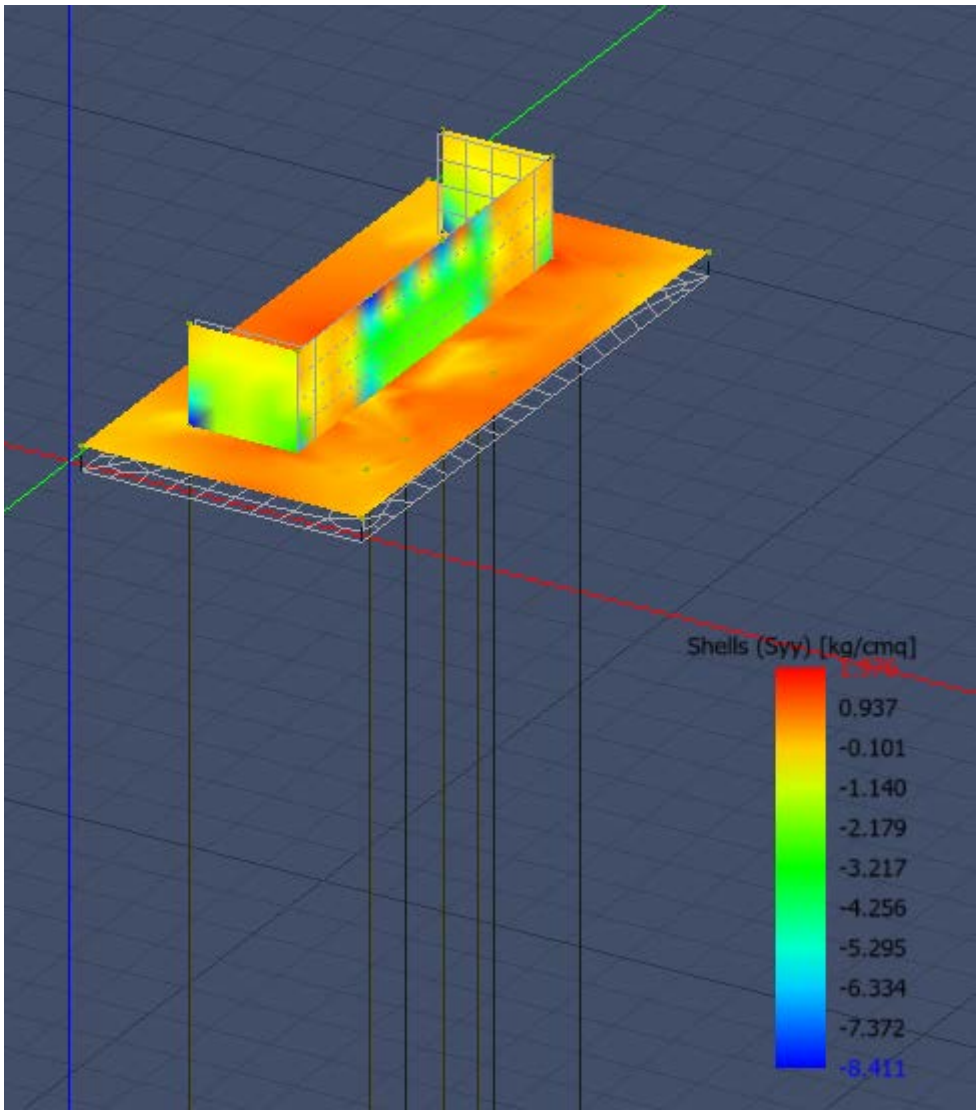


Figura 15 - Tensioni Syy

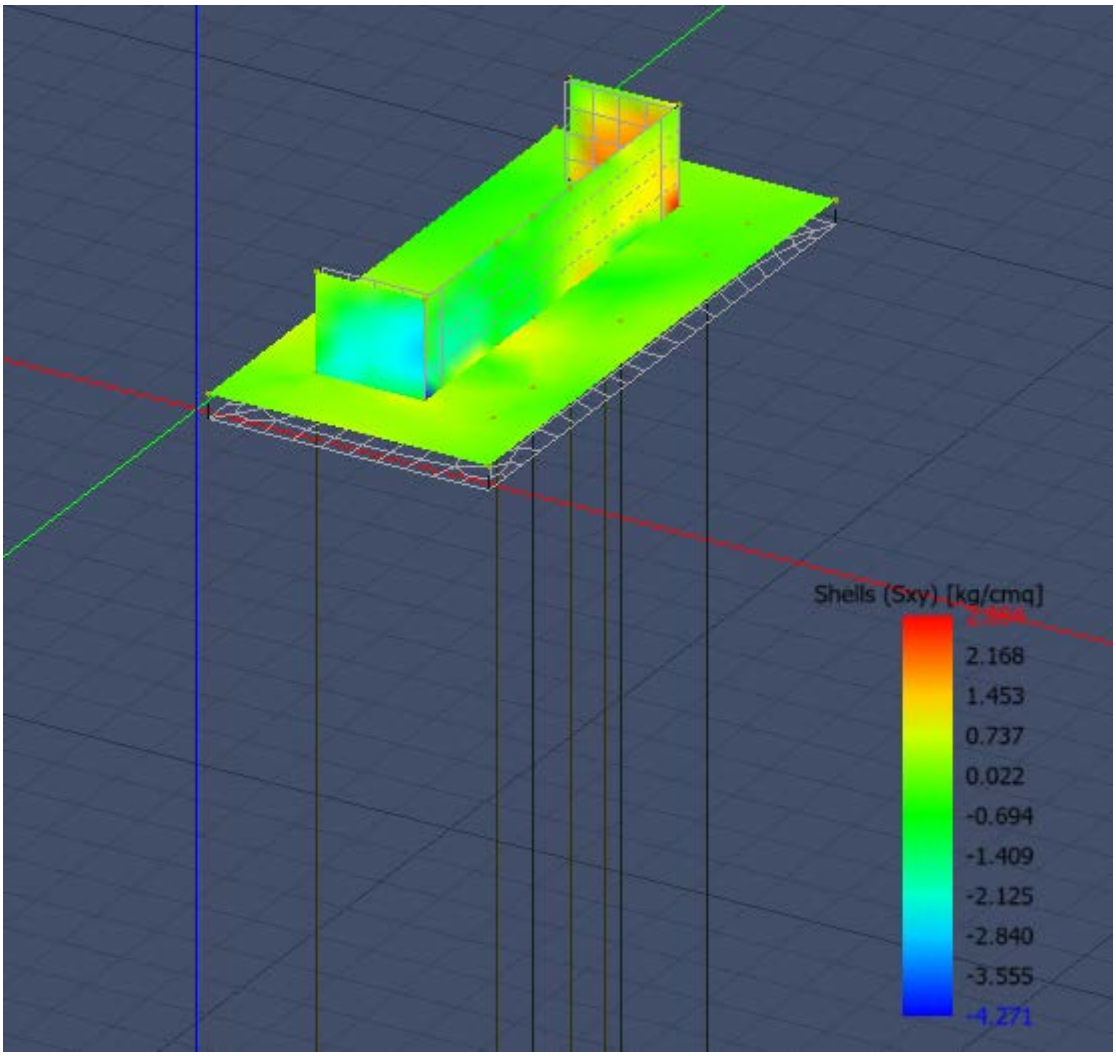


Figura 16 - Tensioni Sxy

9 DATI IN INPUT

Si riportano i dati di input del modello di calcolo.

9.1 Scenari di calcolo

Scenario : Set_NT_ 2018 A2_SLV_SLD_STR_GEO
Combinazione n° 1: **SLU_1**
Tipo: STR+GEO
Spettro: n.a.
Fattore sisma: n.a.
Angolo ingresso sisma [°]: n.a.
Kmod: 0.60

Condizione di carico	Fattore di combinazione	Attiva	Massa	Fattore massa
Peso Proprio	1	Si	n.a.	n.a.
Spinta terreno	1	Si	n.a.	n.a.
F1_21_SLU	1	Si	n.a.	n.a.
F1_22_SLU	1	Si	n.a.	n.a.

Condizione di carico	Fattore di combinazione	Attiva	Massa	Fattore massa
F1_23_SLU	1	Si	n.a.	n.a.
F1_24_SLU	1	Si	n.a.	n.a.
F1_21_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_QP	1	No	n.a.	n.a.

Combinazione n° 2: **SLU_2**
Tipo: STR+GEO
Spettro: n.a.
Fattore sisma: n.a.
Angolo ingresso sisma [°]: n.a.
Kmod: 1.00

Condizione di carico	Fattore di combinazione	Attiva	Massa	Fattore massa
Peso Proprio	1	Si	n.a.	n.a.
Spinta terreno	1	Si	n.a.	n.a.
F1_21_SLU	1	Si	n.a.	n.a.
F1_22_SLU	1	Si	n.a.	n.a.
F1_23_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_21_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_QP	1	No	n.a.	n.a.

Combinazione n° 3: **SLU_3**
Tipo: STR+GEO
Spettro: n.a.
Fattore sisma: n.a.
Angolo ingresso sisma [°]: n.a.
Kmod: 1.00

Condizione di carico	Fattore di combinazione	Attiva	Massa	Fattore massa
Peso Proprio	1	Si	n.a.	n.a.
Spinta terreno	1	Si	n.a.	n.a.
F1_21_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_SLU	1	Si	n.a.	n.a.
F1_24_SLU	1	Si	n.a.	n.a.
F1_21_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_QP	1	No	n.a.	n.a.

Combinazione n° 4: **SLE_RARA1**
Tipo: SLE Rara
Spettro: n.a.
Fattore sisma: n.a.
Angolo ingresso sisma [°]: n.a.
Kmod: 1.00

Condizione di carico	Fattore di combinazione	Attiva	Massa	Fattore massa
Peso Proprio	1	Si	n.a.	n.a.
Spinta terreno	1	Si	n.a.	n.a.
F1_21_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_21_RARA	1	Si	n.a.	n.a.
F1_22_RARA	1	Si	n.a.	n.a.
F1_23_RARA	1	Si	n.a.	n.a.
F1_24_RARA	1	Si	n.a.	n.a.
F2_21_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_QP	1	No	n.a.	n.a.

Combinazione n° 5: **SLE_RARA2**
Tipo: SLE Rara
Spettro: n.a.
Fattore sisma: n.a.
Angolo ingresso sisma [°]: n.a.
Kmod: 1.00

Condizione di carico	Fattore di combinazione	Attiva	Massa	Fattore massa
Peso Proprio	1	Si	n.a.	n.a.
Spinta terreno	1	Si	n.a.	n.a.
F1_21_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_21_RARA	1	Si	n.a.	n.a.
F1_22_RARA	1	Si	n.a.	n.a.
F1_23_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_QP	1	No	n.a.	n.a.

Combinazione n° 6: **SLE_RARA3**
Tipo: SLE Rara
Spettro: n.a.
Fattore sisma: n.a.
Angolo ingresso sisma [°]: n.a.
Kmod: 0.90

Condizione di carico	Fattore di combinazione	Attiva	Massa	Fattore massa
Peso Proprio	1	Si	n.a.	n.a.
Spinta terreno	1	Si	n.a.	n.a.
F1_21_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_21_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_RARA	1	Si	n.a.	n.a.
F1_24_RARA	1	Si	n.a.	n.a.
F2_21_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_QP	1	No	n.a.	n.a.

Combinazione n° 7: **SLE_FREQ1**
Tipo: SLE Freq.
Spettro: n.a.
Fattore sisma: n.a.

Angolo ingresso sisma [°]: n.a.
Kmod: 1.00

Condizione di carico	Fattore di combinazione	Attiva	Massa	Fattore massa
Peso Proprio	1	Si	n.a.	n.a.
Spinta terreno	1	Si	n.a.	n.a.
F1_21_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_21_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_FREQ	1	Si	n.a.	n.a.
F2_22_FREQ	1	Si	n.a.	n.a.
F2_23_FREQ	1	Si	n.a.	n.a.
F2_24_FREQ	1	Si	n.a.	n.a.
F2_21_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_QP	1	No	n.a.	n.a.

Combinazione n° 8: **SLE_FREQ2**
Tipo: SLE Freq.
Spettro: n.a.
Fattore sisma: n.a.
Angolo ingresso sisma [°]: n.a.
Kmod: 1.00

Condizione di carico	Fattore di combinazione	Attiva	Massa	Fattore massa
Peso Proprio	1	Si	n.a.	n.a.
Spinta terreno	1	Si	n.a.	n.a.
F1_21_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_21_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_FREQ	1	Si	n.a.	n.a.
F2_22_FREQ	1	Si	n.a.	n.a.
F2_23_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_QP	1	No	n.a.	n.a.

Combinazione n° 9: **SLE_FREQ3**
Tipo: SLE Freq.

Spettro: n.a.
Fattore sisma: n.a.
Angolo ingresso sisma [°]: n.a.
Kmod: 1.00

Condizione di carico	Fattore di combinazione	Attiva	Massa	Fattore massa
Peso Proprio	1	Si	n.a.	n.a.
Spinta terreno	1	Si	n.a.	n.a.
F1_21_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_21_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_FREQ	1	Si	n.a.	n.a.
F2_24_FREQ	1	Si	n.a.	n.a.
F2_21_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_QP	1	No	n.a.	n.a.

Combinazione n° 10: SLE_QP1
Tipo: SLE Q.Perm.
Spettro: n.a.
Fattore sisma: n.a.
Angolo ingresso sisma [°]: n.a.
Kmod: 1.00

Condizione di carico	Fattore di combinazione	Attiva	Massa	Fattore massa
Peso Proprio	1	Si	n.a.	n.a.
Spinta terreno	1	Si	n.a.	n.a.
F1_21_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_21_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_QP	1	Si	n.a.	n.a.
F2_22_QP	1	Si	n.a.	n.a.
F2_23_QP	1	Si	n.a.	n.a.
F2_24_QP	1	Si	n.a.	n.a.

Combinazione n° 11: **SLE_QP2**
Tipo: SLE Q.Perm.
Spettro: n.a.
Fattore sisma: n.a.
Angolo ingresso sisma [°]: n.a.
Kmod: 1.00

Condizione di carico	Fattore di combinazione	Attiva	Massa	Fattore massa
Peso Proprio	1	Si	n.a.	n.a.
Spinta terreno	1	Si	n.a.	n.a.
F1_21_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_21_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_QP	1	Si	n.a.	n.a.
F2_22_QP	1	Si	n.a.	n.a.
F2_23_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_QP	1	No	n.a.	n.a.

Combinazione n° 12: **SLE_QP3**
Tipo: SLE Q.Perm.
Spettro: n.a.
Fattore sisma: n.a.
Angolo ingresso sisma [°]: n.a.
Kmod: 1.00

Condizione di carico	Fattore di combinazione	Attiva	Massa	Fattore massa
Peso Proprio	1	Si	n.a.	n.a.
Spinta terreno	1	Si	n.a.	n.a.
F1_21_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_SLU	1	No	n.a.	n.a.
F1_21_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_22_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_23_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F1_24_RARA	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_24_FREQ	1	No	n.a.	n.a.
F2_21_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_22_QP	1	No	n.a.	n.a.
F2_23_QP	1	Si	n.a.	n.a.
F2_24_QP	1	Si	n.a.	n.a.

9.2 Nodi – Geometria e vincoli

Nodo	X	Y	Z	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz	Impalcato
	Coordinate [mm]			Vincoli						
1	-110	514	0	1	1	0	0	0	1	-1
2	4560	514	0	1	1	0	0	0	1	-1
3	910	1864	0	1	1	0	0	0	1	-1
4	2710	1864	0	1	1	0	0	0	1	-1
5	3860	1864	0	1	1	0	0	0	1	-1
6	1460	3012	0	0	0	0	0	0	0	-1
7	3860	3012	0	0	0	0	0	0	0	-1
8	2710	3971	0	0	0	0	0	0	0	-1
9	2710	5004	0	1	1	0	0	0	1	-1
10	1460	5516	0	0	0	0	0	0	0	-1
11	3860	5516	0	0	0	0	0	0	0	-1
12	2710	6037	0	1	1	0	0	0	1	-1
13	2710	7071	0	0	0	0	0	0	0	-1
14	1460	8013	0	0	0	0	0	0	0	-1
15	3860	8013	0	0	0	0	0	0	0	-1
16	910	9166	0	1	1	0	0	0	1	-1
17	3860	9166	0	1	1	0	0	0	1	-1
18	2710	9178	0	1	1	0	0	0	1	-1
19	-110	10516	0	1	1	0	0	0	1	-1
20	4560	10516	0	1	1	0	0	0	1	-1
21	2710	7071	1640	0	0	0	0	0	0	-1
22	2710	6037	1640	0	0	0	0	0	0	-1
23	2710	5004	1640	0	0	0	0	0	0	-1
24	2710	3971	1640	0	0	0	0	0	0	-1
25	2710	1864	1640	0	0	0	0	0	0	-1
26	2710	9178	1640	0	0	0	0	0	0	-1
27	910	1864	1640	0	0	0	0	0	0	-1
28	910	9166	1640	0	0	0	0	0	0	-1

9.3 Nodi – Carichi

N°	Cond.	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz	Δt
		kg			kg*m			mm			mrad			°C
21	F1_21_SLU	10738	4782	36905	0	0	0							
21	F1_21_RARA	5889	3188	30219	0	0	0							
21	F2_21_FREQ	5889	18	28887	0	0	0							
21	F2_21_QP	3683	0	17030	0	0	0							
22	F1_22_SLU	10334	5336	45198	0	0	0							
22	F1_22_RARA	6003	3552	36746	0	0	0							
22	F2_22_FREQ	6003	53	33546	0	0	0							
22	F2_22_QP	3747	53	19373	0	0	0							
23	F1_23_SLU	10020	5539	40935	0	0	0							
23	F1_23_RARA	6003	3712	33905	0	0	0							
23	F2_23_FREQ	6003	98	33546	0	0	0							
23	F2_23_QP	3747	54	19373	0	0	0							
24	F1_24_SLU	9946	4767	50329	0	0	0							
24	F1_24_RARA	5890	3180	39169	0	0	0							
24	F2_24_FREQ	5890	24	28887	0	0	0							
24	F2_24_QP	3684	0	17030	0	0	0							

N°	Cond.	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz	Δt
24	F2_24_QP	3684	0	17030	0	0	0							

9.4 Platea e muri – Geometria e vincoli

Parete	Nodi	Tipo	Materiale	Criterio	N.P.	N.P.X	N.P.Y	Spess.
								cm
1	1-19-16-14-10-6-3	Platea	C32/40	CLS_Platee	75			80
2	1-3-4-5-2	Platea	C32/40	CLS_Platee	34			80
3	3-6-7-5-4	Platea	C32/40	CLS_Platee	13			80
4	2-5-7-11-15-17-20	Platea	C32/40	CLS_Platee	41			80
5	20-17-18-16-19	Platea	C32/40	CLS_Platee	34			80
6	17-15-14-16-18	Platea	C32/40	CLS_Platee	12			80
7	14-13-12-9-8-6-10	Platea	C32/40	CLS_Platee	32			80
8	15-11-7-8-9-12-13	Platea	C32/40	CLS_Platee	27			80
9	15-13-14	Platea	C32/40	CLS_Platee	7			80
10	7-6-8	Platea	C32/40	CLS_Platee	7			80
11	26-21-22-23-24-25-4-8-9-12-13-18	Discreto	C32/40	CLS_Pareti	56			150
12	25-27-3-4	Discreto	C32/40	CLS_Pareti	16			30
13	18-16-28-26	Discreto	C32/40	CLS_Pareti	16			30

9.5 Pali – Geometria e vincoli

N°	Nodo	Ø	L	Aff.to	Criterio	Terr.	FF	TR.X	TR.Y	TR.Z
		mm	cm	cm				cm	cm	cm
1	16	1000	2000.0	0.0	CLS_Pali	Terreno1	5	0.0	0.0	0.0
2	3	1000	2000.0	0.0	CLS_Pali	Terreno1	5	0.0	0.0	0.0
7	7	1000	2000.0	0.0	CLS_Pali	Terreno1	5	0.0	0.0	0.0
8	8	1000	2000.0	0.0	CLS_Pali	Terreno1	5	0.0	0.0	0.0
11	11	1000	2000.0	0.0	CLS_Pali	Terreno1	5	0.0	0.0	0.0
13	13	1000	2000.0	0.0	CLS_Pali	Terreno1	5	0.0	0.0	0.0
15	15	1000	2000.0	0.0	CLS_Pali	Terreno1	5	0.0	0.0	0.0

10 SOLLECITAZIONI

10.1 Pali - Sollecitazioni

Palo/Plinto	Comb.	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		kg	kg	kg	kg*m	kg*m	kg*m
2	1	-19954	150	-9	0	-53	-843
2	2	-12313	103	-324	0	-1825	-582
2	3	-17135	3	311	0	1752	-15
7	1	-18624	507	5	-1	-10	-2920
7	2	-12227	268	-342	-2	-1937	-1542
7	3	-15971	283	352	1	1950	-1646
8	1	-20103	453	50	50	331	-2584
8	2	-13540	218	-331	32	-1846	-1228
8	3	-16307	215	365	28	2072	-1233

Palo/Plinto	Comb.	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
11	1	-18255	597	216	-1	1218	-3419
11	2	-13645	344	-276	1	-1557	-1974
11	3	-14194	309	490	-2	2768	-1781
13	1	-18861	472	363	-39	2018	-2698
13	2	-15181	271	-158	-22	-900	-1555
13	3	-13428	182	537	-27	3016	-1022
15	1	-16794	499	400	3	2285	-2864
15	2	-14482	312	-142	-0	-768	-1801
15	3	-11894	231	535	3	3025	-1330
1	1	-17503	204	368	0	2074	-1147
1	2	-15543	77	-126	0	-710	-434
1	3	-11466	83	496	0	2794	-466

10.2 Platea – Tensioni del terreno

Scenario di calcolo: **Set_NT_ 2018 A2_SLV_SLD_STR_GEO**

Muro	Cx	Cy	Cz	Sigma
	mm	mm	mm	kg/cmq
1	910	1864	0	0.33(1)
1	1460	3012	0	0.34(1)
1	910	9166	0	0.29(1)
1	-110	10516	0	0.28(1)
1	1460	8013	0	0.31(1)
1	1460	5516	0	0.33(1)
1	-110	514	0	0.34(1)
1	1185	2438	0	0.33(1)
1	655	9504	0	0.29(1)
1	400	9841	0	0.29(1)
1	145	10179	0	0.29(1)
1	1185	8589	0	0.30(1)
1	1460	3429	0	0.34(1)
1	1460	3847	0	0.34(1)
1	1460	4264	0	0.34(1)
1	1460	4681	0	0.34(1)
1	1460	5099	0	0.34(1)
1	1460	6140	0	0.33(1)
1	1460	6764	0	0.32(1)
1	1460	7389	0	0.31(1)
1	145	851	0	0.34(1)
1	400	1189	0	0.34(1)
1	655	1526	0	0.33(1)
1	-110	1014	0	0.34(1)
1	-110	1514	0	0.34(1)
1	-110	2014	0	0.34(1)
1	-110	2514	0	0.34(1)
1	-110	3015	0	0.34(1)
1	-110	3515	0	0.34(1)
1	-110	4015	0	0.34(1)
1	-110	4515	0	0.34(1)
1	-110	5015	0	0.34(1)
1	-110	5515	0	0.34(1)
1	-110	6015	0	0.34(1)
1	-110	6515	0	0.33(1)
1	-110	7015	0	0.33(1)
1	-110	7515	0	0.32(1)

Muro	Cx	Cy	Cz	Sigma
1	-110	8015	0	0.31(1)
1	-110	8516	0	0.31(1)
1	-110	9016	0	0.30(1)
1	-110	9516	0	0.29(1)
1	-110	10016	0	0.29(1)
1	481	9300	0	0.29(1)
1	569	8875	0	0.30(1)
1	812	8374	0	0.30(1)
1	976	7842	0	0.31(1)
1	1033	7277	0	0.32(1)
1	1054	6698	0	0.32(1)
1	1065	6118	0	0.33(1)
1	1079	5554	0	0.33(1)
1	1108	5060	0	0.34(1)
1	1171	4662	0	0.34(1)
1	1177	4276	0	0.34(1)
1	1167	3867	0	0.34(1)
1	1139	3447	0	0.34(1)
1	1044	3032	0	0.34(1)
1	770	2585	0	0.34(1)
1	602	2041	0	0.33(1)
1	488	1691	0	0.34(1)
1	81	1123	0	0.34(1)
1	221	1510	0	0.34(1)
1	260	2039	0	0.34(1)
1	337	2604	0	0.34(1)
1	244	3059	0	0.34(1)
1	220	3517	0	0.34(1)
1	224	3991	0	0.34(1)
1	246	4476	0	0.34(1)
1	281	4982	0	0.34(1)
1	280	5515	0	0.34(1)
1	276	6044	0	0.33(1)
1	270	6571	0	0.33(1)
1	258	7091	0	0.32(1)
1	236	7600	0	0.32(1)
1	205	8085	0	0.31(1)
1	183	8532	0	0.30(1)
1	214	8984	0	0.30(1)
1	83	9902	0	0.29(1)
1	214	9509	0	0.29(1)
1	686	5517	0	0.34(1)
1	657	6631	0	0.33(1)
1	671	6078	0	0.33(1)
1	508	8175	0	0.31(1)
1	420	8527	0	0.30(1)
1	589	7698	0	0.31(1)
1	634	7174	0	0.32(1)
1	543	3513	0	0.34(1)
1	838	3490	0	0.34(1)
1	530	3127	0	0.34(1)
1	779	3121	0	0.34(1)
1	523	2855	0	0.34(1)
1	691	2854	0	0.34(1)
1	604	4415	0	0.34(1)
1	895	4305	0	0.34(1)
1	863	3904	0	0.34(1)

Muro	Cx	Cy	Cz	Sigma
1	559	3956	0	0.34(1)
1	722	4921	0	0.34(1)
1	929	4629	0	0.34(1)
2	3860	1864	0	0.31(1)
2	2710	1864	0	0.33(1)
2	910	1864	0	0.33(1)
2	4560	514	0	0.31(1)
2	-110	514	0	0.34(1)
2	3285	1864	0	0.32(1)
2	2260	1864	0	0.33(1)
2	1810	1864	0	0.33(1)
2	1360	1864	0	0.33(1)
2	4385	851	0	0.31(1)
2	4210	1189	0	0.31(1)
2	4035	1526	0	0.31(1)
2	655	1526	0	0.33(1)
2	400	1189	0	0.34(1)
2	145	851	0	0.34(1)
2	4093	514	0	0.31(1)
2	3626	514	0	0.32(1)
2	3159	514	0	0.32(1)
2	2692	514	0	0.33(1)
2	2225	514	0	0.33(1)
2	1758	514	0	0.33(1)
2	1291	514	0	0.33(1)
2	824	514	0	0.33(1)
2	357	514	0	0.34(1)
2	1093	1600	0	0.33(1)
2	1409	1580	0	0.33(1)
2	1825	1566	0	0.33(1)
2	2274	1560	0	0.33(1)
2	2734	1560	0	0.33(1)
2	3201	1569	0	0.32(1)
2	3570	1587	0	0.32(1)
2	3642	1328	0	0.32(1)
2	4079	768	0	0.31(1)
2	3755	940	0	0.32(1)
2	3211	900	0	0.32(1)
2	2722	885	0	0.33(1)
2	2246	883	0	0.33(1)
2	1776	891	0	0.33(1)
2	1302	908	0	0.33(1)
2	427	772	0	0.34(1)
2	784	946	0	0.33(1)
2	974	1338	0	0.33(1)
2	1372	1269	0	0.33(1)
2	1810	1241	0	0.33(1)
2	2267	1231	0	0.33(1)
2	2732	1234	0	0.33(1)
2	3196	1258	0	0.32(1)
3	910	1864	0	0.33(1)
3	2710	1864	0	0.33(1)
3	3860	1864	0	0.31(1)
3	3860	3012	0	0.31(1)
3	1460	3012	0	0.34(1)
3	1360	1864	0	0.33(1)
3	1810	1864	0	0.33(1)

Muro	Cx	Cy	Cz	Sigma
3	2260	1864	0	0.33(1)
3	3285	1864	0	0.32(1)
3	3860	2438	0	0.31(1)
3	3260	3012	0	0.32(1)
3	2660	3012	0	0.33(1)
3	2060	3012	0	0.33(1)
3	1185	2438	0	0.33(1)
3	2056	2562	0	0.33(1)
3	3246	2429	0	0.32(1)
3	2583	2406	0	0.33(1)
3	2250	2163	0	0.33(1)
3	1912	2218	0	0.33(1)
3	1534	2285	0	0.33(1)
3	1683	2620	0	0.33(1)
4	3860	3012	0	0.31(1)
4	3860	1864	0	0.31(1)
4	4560	10516	0	0.25(2)
4	3860	9166	0	0.27(1)
4	3860	8013	0	0.28(1)
4	3860	5516	0	0.30(1)
4	4560	514	0	0.31(1)
4	3860	2438	0	0.31(1)
4	4385	10179	0	0.25(1)
4	4210	9841	0	0.26(1)
4	4035	9504	0	0.26(1)
4	3860	8589	0	0.27(1)
4	3860	7389	0	0.29(1)
4	3860	6764	0	0.29(1)
4	3860	6140	0	0.30(1)
4	3860	5099	0	0.31(1)
4	3860	4681	0	0.31(1)
4	3860	4264	0	0.31(1)
4	3860	3847	0	0.31(1)
4	3860	3429	0	0.31(1)
4	4035	1526	0	0.31(1)
4	4210	1189	0	0.31(1)
4	4385	851	0	0.31(1)
4	4560	10016	0	0.25(1)
4	4560	9516	0	0.26(1)
4	4560	9016	0	0.26(1)
4	4560	8516	0	0.27(1)
4	4560	8016	0	0.27(1)
4	4560	7515	0	0.28(1)
4	4560	7015	0	0.28(1)
4	4560	6515	0	0.29(1)
4	4560	6015	0	0.29(1)
4	4560	5515	0	0.29(1)
4	4560	5015	0	0.30(1)
4	4560	4515	0	0.30(1)
4	4560	4015	0	0.30(1)
4	4560	3515	0	0.30(1)
4	4560	3015	0	0.30(1)
4	4560	2514	0	0.30(1)
4	4560	2014	0	0.31(1)
4	4560	1514	0	0.31(1)
4	4560	1014	0	0.31(1)
4	4041	2050	0	0.31(1)

Muro	Cx	Cy	Cz	Sigma
4	4026	2362	0	0.31(1)
4	4210	5545	0	0.30(1)
4	4210	6086	0	0.29(1)
4	4210	6641	0	0.29(1)
4	4210	7200	0	0.28(1)
4	4212	7755	0	0.28(1)
4	4216	8291	0	0.27(1)
4	4235	8803	0	0.27(1)
4	4441	9943	0	0.26(1)
4	4378	9635	0	0.26(1)
4	4302	9239	0	0.26(1)
4	4210	5065	0	0.30(1)
4	4210	4600	0	0.30(1)
4	4210	4137	0	0.30(1)
4	4208	3669	0	0.31(1)
4	4201	3178	0	0.31(1)
4	4177	2598	0	0.31(1)
4	4435	1099	0	0.31(1)
4	4360	1432	0	0.31(1)
4	4235	1924	0	0.31(1)
5	3860	9166	0	0.27(1)
5	4560	10516	0	0.25(2)
5	910	9166	0	0.29(1)
5	2710	9178	0	0.29(1)
5	-110	10516	0	0.28(1)
5	4035	9504	0	0.26(1)
5	4210	9841	0	0.26(1)
5	4385	10179	0	0.25(1)
5	1360	9169	0	0.29(1)
5	1810	9172	0	0.29(1)
5	2260	9175	0	0.29(1)
5	3285	9172	0	0.28(1)
5	145	10179	0	0.29(1)
5	400	9841	0	0.29(1)
5	655	9504	0	0.29(1)
5	357	10516	0	0.28(1)
5	824	10516	0	0.28(1)
5	1291	10516	0	0.28(1)
5	1758	10516	0	0.27(1)
5	2225	10516	0	0.27(1)
5	2692	10516	0	0.27(1)
5	3159	10516	0	0.26(1)
5	3626	10516	0	0.26(1)
5	4093	10516	0	0.25(2)
5	3570	9433	0	0.27(1)
5	3195	9454	0	0.28(1)
5	2722	9470	0	0.28(1)
5	2260	9475	0	0.28(1)
5	1815	9473	0	0.29(1)
5	1406	9463	0	0.29(1)
5	1094	9444	0	0.29(1)
5	973	9702	0	0.29(1)
5	427	10262	0	0.28(1)
5	784	10090	0	0.28(1)
5	1301	10130	0	0.28(1)
5	1774	10146	0	0.28(1)
5	2244	10147	0	0.28(1)

Muro	Cx	Cy	Cz	Sigma
5	2720	10141	0	0.27(1)
5	3210	10123	0	0.27(1)
5	4080	10259	0	0.26(1)
5	3755	10085	0	0.26(1)
5	3640	9694	0	0.27(1)
5	3193	9763	0	0.27(1)
5	2722	9792	0	0.28(1)
5	2255	9801	0	0.28(1)
5	1802	9797	0	0.28(1)
5	1370	9773	0	0.28(1)
6	3860	8013	0	0.28(1)
6	3860	9166	0	0.27(1)
6	2710	9178	0	0.29(1)
6	910	9166	0	0.29(1)
6	1460	8013	0	0.31(1)
6	3860	8589	0	0.27(1)
6	3285	9172	0	0.28(1)
6	2260	9175	0	0.29(1)
6	1810	9172	0	0.29(1)
6	1360	9169	0	0.29(1)
6	2060	8013	0	0.30(1)
6	2660	8013	0	0.30(1)
6	3260	8013	0	0.29(1)
6	1185	8589	0	0.30(1)
6	2604	8603	0	0.29(1)
6	2163	8420	0	0.30(1)
6	1457	8801	0	0.30(1)
6	1824	8643	0	0.30(1)
6	2229	8807	0	0.29(1)
6	3252	8594	0	0.28(1)
7	1460	5516	0	0.33(1)
7	1460	3012	0	0.34(1)
7	2710	3971	0	0.33(1)
7	2710	5004	0	0.33(1)
7	2710	6037	0	0.33(1)
7	2710	7071	0	0.31(1)
7	1460	8013	0	0.31(1)
7	1460	5099	0	0.34(1)
7	1460	4681	0	0.34(1)
7	1460	4264	0	0.34(1)
7	1460	3847	0	0.34(1)
7	1460	3429	0	0.34(1)
7	2710	4488	0	0.34(1)
7	2710	5521	0	0.33(1)
7	2710	6554	0	0.32(1)
7	2398	7306	0	0.31(1)
7	2085	7542	0	0.31(1)
7	1773	7777	0	0.31(1)
7	1773	3252	0	0.33(1)
7	2085	3492	0	0.33(1)
7	2398	3731	0	0.33(1)
7	1460	7389	0	0.31(1)
7	1460	6764	0	0.32(1)
7	1460	6140	0	0.33(1)
7	2448	6915	0	0.32(1)
7	2356	6617	0	0.32(1)
7	2300	6070	0	0.33(1)

Muro	Cx	Cy	Cz	Sigma
7	2245	5443	0	0.33(1)
7	2354	4933	0	0.34(1)
7	2402	4496	0	0.34(1)
7	2435	4165	0	0.34(1)
7	2196	4034	0	0.34(1)
7	1691	3505	0	0.34(1)
7	1844	3836	0	0.34(1)
7	1794	4307	0	0.34(1)
7	1769	4728	0	0.34(1)
7	1772	5130	0	0.34(1)
7	1842	5567	0	0.33(1)
7	1893	6175	0	0.33(1)
7	1734	7363	0	0.31(1)
7	1967	6919	0	0.32(1)
7	2271	7047	0	0.32(1)
7	2113	4408	0	0.34(1)
7	2064	4798	0	0.34(1)
7	2027	5124	0	0.34(1)
8	3860	5516	0	0.30(1)
8	3860	8013	0	0.28(1)
8	2710	7071	0	0.31(1)
8	2710	6037	0	0.33(1)
8	2710	5004	0	0.33(1)
8	2710	3971	0	0.33(1)
8	3860	3012	0	0.31(1)
8	3860	6140	0	0.30(1)
8	3860	6764	0	0.29(1)
8	3860	7389	0	0.29(1)
8	2710	6554	0	0.32(1)
8	2710	5521	0	0.33(1)
8	2710	4488	0	0.34(1)
8	3285	7542	0	0.30(1)
8	3285	3492	0	0.32(1)
8	3860	3429	0	0.31(1)
8	3860	3847	0	0.31(1)
8	3860	4264	0	0.31(1)
8	3860	4681	0	0.31(1)
8	3860	5099	0	0.31(1)
8	3093	4484	0	0.33(1)
8	3162	4950	0	0.32(1)
8	3110	5512	0	0.32(1)
8	3074	6024	0	0.32(1)
8	3031	6433	0	0.32(1)
8	3485	7217	0	0.30(1)
8	3305	6719	0	0.31(1)
8	3431	6109	0	0.31(1)
8	3482	5551	0	0.31(1)
8	3523	5071	0	0.31(1)
8	3583	4692	0	0.32(1)
8	3587	4347	0	0.32(1)
8	3566	4031	0	0.32(1)
8	3466	3760	0	0.32(1)
8	3155	4097	0	0.33(1)
8	3350	4421	0	0.32(1)
8	3357	4183	0	0.32(1)
8	3365	4688	0	0.32(1)
9	1460	8013	0	0.31(1)

Muro	Cx	Cy	Cz	Sigma
9	2710	7071	0	0.31(1)
9	3860	8013	0	0.28(1)
9	1773	7777	0	0.31(1)
9	2085	7542	0	0.31(1)
9	2398	7306	0	0.31(1)
9	3285	7542	0	0.30(1)
9	3260	8013	0	0.29(1)
9	2660	8013	0	0.30(1)
9	2060	8013	0	0.30(1)
9	2840	7657	0	0.30(1)
9	2417	7766	0	0.30(1)
9	2083	7852	0	0.30(1)
10	2710	3971	0	0.33(1)
10	1460	3012	0	0.34(1)
10	3860	3012	0	0.31(1)
10	2398	3731	0	0.33(1)
10	2085	3492	0	0.33(1)
10	1773	3252	0	0.33(1)
10	3285	3492	0	0.32(1)
10	2060	3012	0	0.33(1)
10	2660	3012	0	0.33(1)
10	3260	3012	0	0.32(1)
10	2084	3176	0	0.33(1)
10	2417	3263	0	0.33(1)
10	2840	3375	0	0.33(1)
Massimo assoluto				
1	-110	4015	0	0.34(1)
Minimo assoluto				
4	4560	10516	0	0.25(2)

11 LIQUEFAZIONE

In corrispondenza del volume significativo delle opere è stata condotta la verifica a liquefazione che viene riportata in allegato alla relazione PFTE_GE_00_REL_01_A.

11.1 SPOSTAMENTI NODALI

L'analisi degli spostamenti in combinazione sismica e post sismica ha permesso di verificare la compatibilità dei cedimenti con la sicurezza dell'opera. Nei seguenti paragrafi vengono riportati i valori dei cedimenti corrispondenti alla condizione sismica più gravosa e alla condizione post sismica.

11.1.1 Cedimenti in combinazione sismica

Si riportano gli spostamenti in combinazione sismica

Cb-SubC-Cbm=Combinazione - SottoCombinazione sismica - Posizione Masse

Nodo	Cb-SubC-Cbm	Trasl. X	Trasl. Y	Trasl. Z	Rotaz. X	Rotaz. Y	Rotaz. Z
		mm	mm	mm	mrad	mrad	mrad
1	1	0.00	0.00	-1.15	0.00	-0.01	0.00
1	2	0.00	0.00	-0.67	-0.03	-0.01	0.00
1	3	0.00	0.00	-1.02	0.03	0.00	0.00
2	1	0.00	0.00	-1.05	0.01	-0.03	0.00
2	2	0.00	0.00	-0.61	-0.03	-0.02	0.00
2	3	0.00	0.00	-1.00	0.04	-0.02	0.00
3	1	0.00	0.00	-1.13	-0.00	-0.01	0.00

Nodo	Cb-SubC-Cbm	Trasl. X	Trasl. Y	Trasl. Z	Rotaz. X	Rotaz. Y	Rotaz. Z
3	2	0.00	0.00	-0.70	-0.03	-0.01	0.00
3	3	0.00	0.00	-0.97	0.03	-0.00	0.00
4	1	0.00	0.00	-1.13	0.00	-0.03	0.00
4	2	0.00	0.00	-0.69	-0.03	-0.02	0.00
4	3	0.00	0.00	-0.99	0.04	-0.01	0.00
5	1	0.00	0.00	-1.07	0.01	-0.04	0.00
5	2	0.00	0.00	-0.67	-0.03	-0.02	0.00
5	3	0.00	0.00	-0.96	0.04	-0.02	0.00
6	1	0.01	0.01	-1.14	-0.01	-0.01	-0.00
6	2	0.00	0.00	-0.74	-0.04	-0.01	-0.00
6	3	0.00	0.00	-0.95	0.03	-0.00	-0.00
7	1	-0.01	0.00	-1.06	-0.00	-0.05	-0.00
7	2	-0.00	0.00	-0.70	-0.03	-0.03	-0.00
7	3	-0.00	0.00	-0.91	0.03	-0.03	0.00
8	1	-0.00	-0.00	-1.14	0.01	-0.04	0.01
8	2	0.00	-0.00	-0.77	-0.03	-0.02	0.00
8	3	-0.00	-0.00	-0.93	0.03	-0.02	0.00
9	1	0.00	0.00	-1.14	0.01	-0.05	0.00
9	2	0.00	0.00	-0.81	-0.03	-0.03	0.00
9	3	0.00	0.00	-0.88	0.04	-0.02	0.00
10	1	0.01	-0.00	-1.14	0.02	-0.01	0.00
10	2	0.00	0.00	-0.84	-0.03	-0.01	-0.00
10	3	0.00	-0.00	-0.86	0.05	-0.00	0.00
11	1	-0.00	-0.00	-1.04	0.02	-0.06	-0.00
11	2	-0.00	0.00	-0.78	-0.03	-0.03	0.00
11	3	-0.00	-0.00	-0.81	0.05	-0.03	-0.00
12	1	0.00	0.00	-1.12	0.03	-0.05	0.00
12	2	0.00	0.00	-0.85	-0.02	-0.03	0.00
12	3	0.00	0.00	-0.83	0.05	-0.02	0.00
13	1	-0.00	0.00	-1.07	0.03	-0.05	-0.01
13	2	-0.00	0.00	-0.86	-0.02	-0.03	-0.00
13	3	0.00	0.00	-0.76	0.05	-0.02	-0.00
14	1	0.01	-0.01	-1.04	0.05	-0.02	0.00
14	2	0.00	-0.00	-0.88	-0.01	-0.01	0.00
14	3	0.00	-0.00	-0.72	0.06	-0.01	0.00
15	1	-0.00	-0.00	-0.95	0.04	-0.05	0.00
15	2	-0.00	-0.00	-0.82	-0.01	-0.03	-0.00
15	3	-0.00	-0.00	-0.68	0.05	-0.02	0.00
16	1	0.00	0.00	-0.99	0.03	-0.02	0.00
16	2	0.00	0.00	-0.88	-0.01	-0.01	0.00
16	3	0.00	0.00	-0.65	0.05	-0.01	0.00
17	1	0.00	0.00	-0.92	0.03	-0.04	0.00
17	2	0.00	0.00	-0.85	-0.02	-0.02	0.00
17	3	0.00	0.00	-0.62	0.05	-0.02	0.00
18	1	0.00	0.00	-0.97	0.04	-0.03	0.00
18	2	0.00	0.00	-0.88	-0.02	-0.02	0.00
18	3	0.00	0.00	-0.65	0.05	-0.01	0.00
19	1	0.00	0.00	-0.97	0.03	-0.02	0.00
19	2	0.00	0.00	-0.91	-0.01	-0.01	0.00
19	3	0.00	0.00	-0.60	0.05	-0.01	0.00
20	1	0.00	0.00	-0.85	0.03	-0.04	0.00
20	2	0.00	0.00	-0.86	-0.02	-0.02	0.00
20	3	0.00	0.00	-0.55	0.05	-0.01	0.00

Lo spostamento massimo in condizione sismica risulta essere pari a 1.15mm.

11.1.2 Cedimenti in condizione post-sismica

Il calcolo degli spostamenti in condizione post-sismica è stato effettuato con l'ausilio del software GEOSTRU LIQUITER, i dati di input sono stati desunti dalle prove geotecniche in foro e le prove di laboratorio svolte nella stessa area di studio. In assenza di dati diretti si è proceduto ad assegnare parametri caratteristici in base ai litotipi individuati nel corso delle indagini.

Normativa	Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018	Fattore sicurezza normativa	1.25
Profondità falda idrica	0.5 m		
CARICHI SUL PIANO CAMPAGNA			
Base, Lunghezza	m 4.7 , 10	Carico in superficie	30 KPa
Metodo calcolo stato tensionale	Bussinesq	Coefficiente di Poisson	0.3
DATI SISMICI			
Accelerazione Bedrock	0.26 Individua	Fattore amplificazione	F0 0.26
Tipo Suolo	C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360		S 1.5
Morfologia	T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i<=15°		ST 1
Magnitudo momento sismico	Mw 6	Distanza epicentro	Km 9.1 PGA 0.39 ...

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 38.952 lon. 16.187 - id 41445)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	4.2800	13.1000	14.7000	13.6000	10.6000	7.1400	4.2200	0.5780	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.0192	0.5080	1.8600	3.6100	4.9800	5.4000	4.7600	0.8080	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0183	0.4020	1.2300	2.0700	2.6000	0.5370	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0077	0.2360	0.6260	1.0400	0.2480	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0233	0.1410	0.3310	0.0908	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0196	0.1170	0.0377	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0385	0.0164	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094	0.0069	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0009	0.0017	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.95	9.1	0.784

Strato	Comportamento geotecnico	Indice di plasticità [%]	Indice dei vuoti [%]	Indice compressione	Modulo taglio [kN/m²]	Grado di consolidazione medio
	Incoerente	1.00	50	0.40	100	25
	Incoerente	1.00	50	0.50	120	30
	Incoerente	1.00	50	0.60	150	35

<u>Il cedimento post-sismico risulta essere pari a 0.928 cm.</u>

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Fattore di sicurezza Fs	Deformazione verticale	Cedimento [mm]
1	0.70	12.800	10.839	1.87	1.13E-03	0.0225
2	0.90	16.600	12.677	0.86	-1.00E+00	0.0225
3	1.10	20.400	14.516	0.86	-1.00E+00	0.0225
4	1.30	24.200	16.355	0.87	-1.00E+00	0.0225
5	1.50	28.200	18.393	0.88	-1.00E+00	0.0225
6	1.70	32.200	20.432	0.89	-1.00E+00	0.0225
7	1.90	36.200	22.471	0.91	-1.00E+00	0.0225

8	2.10	40.200	24.509	0.93	-1.00E+00	0.0225
9	2.30	44.200	26.548	0.95	-1.00E+00	0.0225
10	2.50	48.200	28.587	0.98	-1.00E+00	0.0225
11	2.70	52.200	30.625	0.96	-1.00E+00	0.0225
12	2.90	56.200	32.664	0.94	-1.00E+00	0.0225
13	3.10	60.200	34.703	0.91	-1.00E+00	0.0225
14	3.30	64.200	36.741	0.89	-1.00E+00	0.0225
15	3.50	68.200	38.780	0.87	-1.00E+00	0.0225
16	3.70	72.200	40.819	0.85	-1.00E+00	0.0225
17	3.90	76.200	42.857	0.83	-1.00E+00	0.0225
18	4.10	80.200	44.896	0.81	-1.00E+00	0.0225
19	4.30	84.200	46.935	0.80	-1.00E+00	0.0225
20	4.50	88.200	48.973	0.78	-1.00E+00	0.0225
21	4.70	92.200	51.012	0.77	-1.00E+00	0.0225
22	4.90	96.200	53.051	0.76	-1.00E+00	0.0225
23	5.10	100.200	55.089	0.74	-1.00E+00	0.0225
24	5.30	104.200	57.128	0.73	-1.00E+00	0.0225
25	5.50	108.200	59.167	0.72	-1.00E+00	0.0225
26	5.70	112.200	61.205	0.59	-1.00E+00	0.0225
27	5.90	116.200	63.244	0.59	-1.00E+00	0.0225
28	6.10	120.200	65.283	0.58	-1.00E+00	0.0225
29	6.30	124.300	67.421	0.58	-1.00E+00	0.0225
30	6.50	128.500	69.660	0.57	-1.00E+00	0.0225
31	6.70	132.700	71.899	0.57	-1.00E+00	0.0225
32	6.90	136.900	74.137	0.56	-1.00E+00	0.0225
33	7.10	141.100	76.376	0.56	-1.00E+00	0.0225
34	7.30	145.300	78.615	0.56	-1.00E+00	0.0225
35	7.50	149.500	80.853	0.55	-1.00E+00	0.0225
36	7.70	153.700	83.092	0.55	-1.00E+00	0.0225
37	7.90	157.900	85.331	0.55	-1.00E+00	0.0225
38	8.10	162.100	87.569	0.55	-1.00E+00	0.0225
39	8.30	166.300	89.808	0.55	-1.00E+00	0.0225
40	8.50	170.500	92.047	0.55	-1.00E+00	0.0225
41	8.70	174.700	94.285	3.77	1.24E-05	0.0002
42	8.90	178.900	96.524	3.71	1.39E-05	0.0003
43	9.10	183.100	98.763	3.66	1.53E-05	0.0003
44	9.30	187.500	101.202	3.62	1.65E-05	0.0003
45	9.50	191.900	103.640	3.57	1.82E-05	0.0004
46	9.70	196.300	106.079	3.53	1.97E-05	0.0004
47	9.90	200.700	108.518	3.49	2.13E-05	0.0004
48	10.10	205.100	110.956	3.45	2.31E-05	0.0005
49	10.30	209.500	113.395	3.41	2.92E-05	0.0006
50	10.50	213.900	115.834	3.38	3.11E-05	0.0006
51	10.70	218.300	118.272	3.34	3.38E-05	0.0007
52	10.90	222.700	120.711	3.31	3.60E-05	0.0007
53	11.10	227.100	123.150	3.28	3.83E-05	0.0008
54	11.30	231.500	125.588	3.25	4.09E-05	0.0008

55	11.50	235.900	128.027	3.23	4.27E-05	0.0009
56	11.70	240.300	130.466	3.20	4.56E-05	0.0009
57	11.90	244.700	132.904	3.18	4.76E-05	0.001
58	12.10	249.100	135.343	3.15	5.09E-05	0.001
59	12.30	253.500	137.782	3.13	5.32E-05	0.0011
60	12.50	257.900	140.220	3.11	5.56E-05	0.0011
61	12.70	262.300	142.659	0.00	-1.00E+00	0.0011
62	12.90	266.700	145.098	0.00	-1.00E+00	0.0011
63	13.10	271.100	147.536	0.00	-1.00E+00	0.0011
64	13.30	275.500	149.975	0.00	-1.00E+00	0.0011
65	13.50	279.900	152.414	0.00	-1.00E+00	0.0011
66	13.70	284.300	154.852	0.00	-1.00E+00	0.0011
67	13.90	288.700	157.291	0.00	-1.00E+00	0.0011
68	14.10	0.000	0.000		-1.00E+00	0.0011
69	14.30	0.000	0.000		-1.00E+00	0.0011
70	14.50	0.000	0.000		-1.00E+00	0.0011
71	14.70	0.000	0.000		-1.00E+00	0.0011

Il valore dei cedimenti in condizione sismica e post sismica risulta essere di piccola entità dunque compatibile con la sicurezza della struttura.

12 VERIFICHE GEOTECNICHE – PALI DI FONDAZIONE

Si riportano i criteri di verifica e le formule utilizzate per il calcolo delle resistenze e del carico limite dei pali di fondazione.

Criteri di verifica e modello di calcolo

Per la verifica a carico limite si adotta l'approccio 2 con una unica combinazione di carico A1+M1+R3, secondo le modalità esposte al p.to 6.4.3 NTC.

Carico limite verticale

La valutazione del carico limite verticale del palo è perseguita attraverso le formule statiche. Ai fini del calcolo, il carico limite di un palo Q_{lim} è convenzionalmente suddiviso in due aliquote, la resistenza alla punta P e la resistenza laterale S:

$$Q_{lim} = P + S = \frac{\pi D^2}{4} p + \pi D \int_0^L s(z)dz$$

dove con p si indica la resistenza unitaria alla punta, con s la resistenza allo scorrimento all'interfaccia laterale palo-terreno, con d il diametro e con L la lunghezza del palo. La suddivisione è convenzionale in quanto gli sforzi laterali e alla punta si mobilitano con il cedimento secondo leggi alquanto diverse e non necessariamente monotonicamente crescenti; pertanto non è detto che, a rottura, siano contemporaneamente agenti le resistenze massime P ed S. Nel calcolo di P e S si prescinde dall'interazione tra i due fenomeni di rottura.

Resistenza alla punta

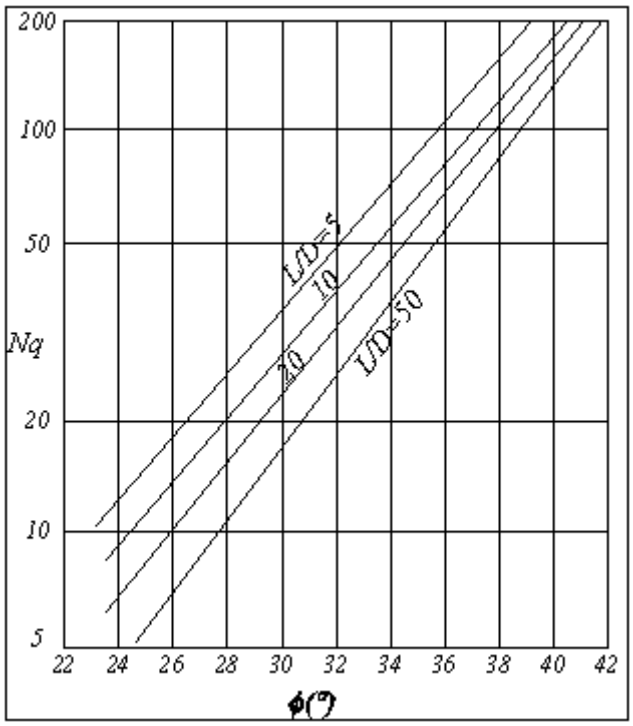
Come per le fondazioni dirette si pone:

$$p = N_q \sigma_{vl} + N_c c$$

dove σ_{vl} rappresenta la tensione litostatica che agisce sul piano orizzontale passante per la punta del palo alla profondità L. Per N_c vale la formula di trasformazione:

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

Il valore di N_q è dato dall'abaco di Berentzantzev, valido per i pali di piccolo diametro.



Resistenza Laterale

Detta $\sigma_h = k\sigma'_{vz}$ la tensione normale orizzontale agente alla profondità z si pone:

$$s = a + k\mu\, \sigma'_{vz}$$

nella quale a è un termine coesivo, μ un coefficiente di attrito tra palo e terreno, k un coefficiente di spinta e σ'_{vz} la tensione effettiva litostatica alla profondità z. Il coefficiente μ dipende dalla scabrezza dell'interfaccia tra palo e terreno ed ha come limite superiore tan(ϕ).
Per il termine coesivo si assume:

$$s = \alpha c$$

con il valore di α dato dalla seguente tabella.

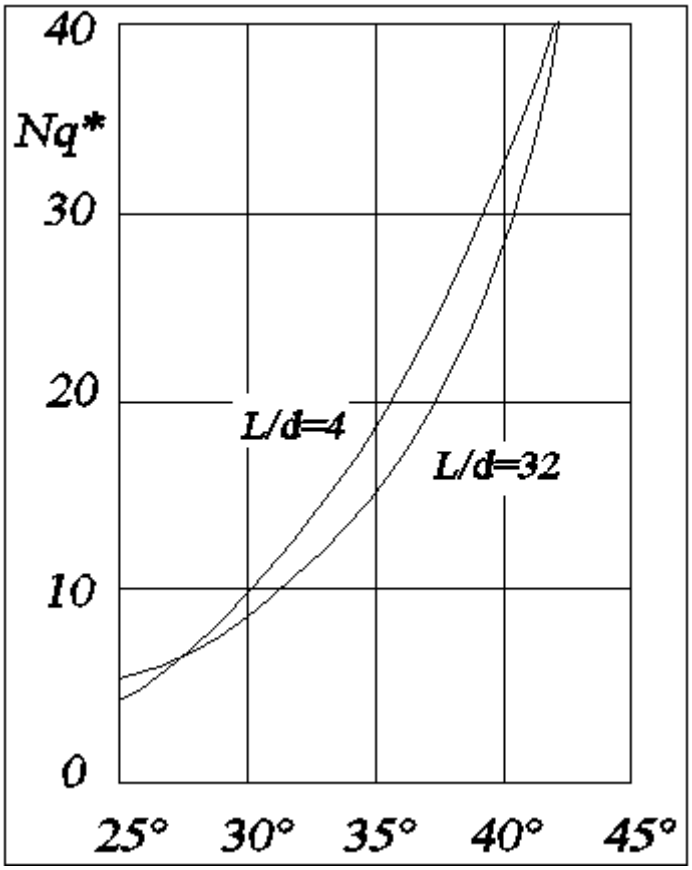
Tipo di palo	Valori di c (kPa)	Valori di α caso non drenato	Valori di α caso drenato
Trivellato	c≤25 25<c<70 c>70	0.7 0.7-0.008 (c-25) 0.35	0.3 c
Trivellato Pressato	c≤25 25<c<70 c>70	0.7 0.7-0.008 (c-25) 0.35	0.3 c
Gettato in opera, battuto	c≤25 25<c<70 c>70	1.0 1.0-0.011 (c-25) 0.5	0.5 c
Prefabbricato cls, battuto	c≤25 25<c<70 c>70	1.0 1.0-0.011 (c-25) 0.5	0.8 c
Legno, battuto	c≤25 25<c<70 c>70	1.0 1.0-0.011 (c-25) 0.5	0.8 c
Tubo Acciaio chiuso, battuto	c≤25 25<c<70 c>70	1.0 1.0-0.011 (c-25) 0.5	0.8 c
Profilato in acciaio, battuto	c≤25 25<c<70 c>70	1.0 1.0-0.011 (c-25) 0.5	0.8 c

I valori di k adottati sono individuati nella tabella seguente:

Tipo di palo	Valori di k per stato di addensamento		Valori di μ
	Sciolto	Addensato	
Trivellato	0.4	0.5	tan(ϕ)
Trivellato Pressato	0.7	0.9	tan(ϕ)
Gettato in opera, battuto	1	3	tan(ϕ)
Prefabbricato cls, battuto	1	2	tan(3ϕ/4)
Legno, battuto	1	2	0.36
Tubo Acciaio chiuso, battuto	1	2	0.36
Profilato in acciaio, battuto	0.5	1	0.36

Carico limite di pali trivellati di grande diametro

Per pali trivellati di grande diametro si adotta l'abaco ridotto di Berezantzev (AGI). Si è osservato che la resistenza laterale dei pali raggiunge il suo valore limite in corrispondenza di cedimenti del palo relativamente ridotti, dell'ordine di 1-2 cm, ed indipendenti dal diametro del palo. La resistenza alla punta al contrario si mobilita per spostamenti proporzionali al diametro, pari a circa il 10% di questo, per pali battuti, e al 25% per i pali trivellati. Nel caso di pali trivellati di grande diametro, pertanto, la resistenza alla punta si mobilita per spostamenti dell'ordine di 15-20 cm. In corrispondenza di spostamenti così elevati la resistenza laterale potrebbe addirittura assumere valori minori di quelli massimi, nel caso di andamento instabile. In ogni caso, applicando gli usuali valori dei coefficienti di sicurezza al carico limite, calcolato come somma di P + S, sotto i carichi di esercizio il palo avrebbe dei cedimenti troppo elevati. Per questi motivi il progetto dei pali di grande diametro è basato sulla considerazione di uno stato limite di servizio e non di rottura; pertanto, il carico limite del palo di grande diametro non è tanto quel carico che produrrebbe la rottura del terreno, ma quello che produrrebbe cedimenti troppo elevati incompatibili con la stabilità della struttura.



Analogamente ai pali di piccolo diametro il valore di p è dato dalla relazione:

$$p = N_q^* \sigma_{vl} + N_c c$$

In entrambi i casi, in condizioni non drenate, si porrà $c = c_u$ e $\phi = 0$.
Per pali trivellati il valore dell'angolo ϕ da introdurre nei calcoli sarà $\phi = \phi' - 3°$, dove ϕ' rappresenta l'angolo di attrito del terreno indisturbato.

Carichi orizzontali

Il calcolo del carico limite orizzontale del palo è condotto attraverso la teoria di Broms. Si assume che il comportamento dell'interfaccia palo terreno sia di tipo rigido perfettamente plastico e che il valore della pressione mobilitata sia indipendente dalla forma della sezione, ma dipenda solo dalla dimensione trasversale d (diametro del palo, lato di una sezione quadrata ecc.). Immaginando di imprimere una traslazione orizzontale al palo, per effetto della resistenza mobilitata nel terreno, lungo il fusto del palo si generano momenti flettenti e la rottura del complesso terreno palo può presentare diverse caratteristiche anche in funzione del vincolo che si ha in testa al palo.
Se il momento di plasticizzazione del palo è talmente grande che in nessun punto del fusto non è superato dal valore massimo del momento flettente, il comportamento è di 'Palo Corto'.
Se il palo è libero di ruotare in testa e se il momento massimo supera il momento di plasticizzazione della sezione del palo, lungo il fusto si forma una cerniera plastica e il comportamento è quello di 'Palo Lungo'. Per i pali impediti di ruotare in testa può accadere o che si formi una sola cerniera plastica in testa ed il palo ha comportamento di 'Palo Intermedio', oppure si formano due cerniere plastiche una in testa e l'altra lungo il fusto, con conseguente comportamento di 'Palo lungo'.
La valutazione della pressione di contatto palo-terreno è valutata secondo la relazione:

$$p = 9cd + 3\,k_p \gamma z d$$

Il primo termine, costante, è esteso tra le profondità 1.5d ed L; il secondo, variabile linearmente, è esteso tra 0 ed L. Il valore di k_p(coefficiente di spinta passiva) è dato dalla relazione k_p=tg(45+ϕ/2). In condizioni non drenate si porrà c=c_u e ϕ =0. Quando si individua che ϕ=0 si trascura automaticamente il secondo termine (esso potrebbe essere trascurato imponendo γ=0, ma il calcolo automatico condurrebbe ad una errata valutazione del carico limite verticale), per terreni incoerenti si porrà c=0.

Verifiche Geotecniche – Pali

Simbologia

D	Diametro del palo
e	Eccentricità della forza orizzontale (solo pali liberi)
L	Lunghezza del palo
Hf	profondità della falda
Mu	Momento ultimo della sezione del palo
V	Azione verticale in testa al palo
H	Azione orizzontale in testa al palo/spessore strato
γ_b	Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza alla punta
γ_s	Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza laterale in compressione
γ_{st}	Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza laterale in trazione
γ_T	Coefficiente di sicurezza per carico limite orizzontale
ξ_3, ξ_4	Coefficienti di correlazione in funzione del numero di verticali indagate
effV,effH	Efficienza di gruppo per carico limite verticale e orizzontale
ϕ	Angolo di attrito interno terreno
c	Coesione
γ	Peso specifico terreno
γ_{sat}	Peso specifico terreno saturo
P	Resistenza alla punta
S	Resistenza laterale
Nd	Carico limite verticale di progetto
Hl	Carico limite orizzontale del palo
Hd	Carico orizzontale di progetto del palo
Z0	Profondità del punto di rotazione (M=0 Teoria di Broms) del palo (solo per pali corti liberi e intermedi vincolati)
Zmax	Profondità in corrispondenza della quale si verifica il momento massimo (Teoria di Broms)
Mmax	Momento corrispondente a Zmax (Teoria di Broms)
PRB	Prefabbricato cls, battuto
GB	Gettato in opera, battuto
TR	Trivellato
TRP	Trivellato Pressato
PRAB	Profilato in acciaio, battuto
TAB	Tubo Acciaio chiuso, battuto
LB	Legno, battuto

GD = Palo di grande diametro per D > Dg=0.60 m

I coefficienti di correlazione ξ_3, ξ_4 sono stati utilizzati rispettivamente i valori 1,5 ed 1,34, considerando un numero di verticali indagate, a vantaggio di sicurezza pari a 5. I fattori di efficienza, per cui a vantaggio di

sicurezza è stato considerato l'interasse minimo tra i pali, sono stati considerati rispettivamente, per carico verticale pari ad 1, per il carico orizzontale pari ad 0,7.

Proprietà di pali

Palo	Tipo	Testa	GD	D	e	L	Mu	V	H
				m	m	m	kg*m	kg	kg
15 (Nodo 15)	TR	Lib.	Si	1.00	5.74	20.00	97700.17	16794	499
11 (Nodo 11)	TR	Lib.	Si	1.00	5.73	20.00	98129.82	18255	597
7 (Nodo 7)	TR	Lib.	Si	1.00	5.75	20.00	98238.31	18624	507
8 (Nodo 8)	TR	Lib.	Si	1.00	5.71	20.00	98672.62	20103	453
13 (Nodo 13)	TR	Lib.	Si	1.00	5.71	20.00	98307.95	18861	472
1 (Nodo 16)	TR	Lib.	Si	1.00	5.63	20.00	97908.63	17503	368
2 (Nodo 3)	TR	Lib.	Si	1.00	5.63	20.00	98628.86	19954	150

Coefficienti di sicurezza

Palo	γb	γs	γst	γTt	ξ	effV	effH
15 (Nodo 15)	1.35	1.15	1.25	1.30	1.50	1.00	0.70
11 (Nodo 11)	1.35	1.15	1.25	1.30	1.50	1.00	0.70
7 (Nodo 7)	1.35	1.15	1.25	1.30	1.50	1.00	0.70
8 (Nodo 8)	1.35	1.15	1.25	1.30	1.50	1.00	0.70
13 (Nodo 13)	1.35	1.15	1.25	1.30	1.50	1.00	0.70
1 (Nodo 16)	1.35	1.15	1.25	1.30	1.50	1.00	0.70
2 (Nodo 3)	1.35	1.15	1.25	1.30	1.50	1.00	0.70

Stratigrafie

H	ϕ	OCR	c	cu	γ	γ_{sat}	Addens.	Descrizione
m	°		kg/cmq	kg/cmq	t/mc	t/mc		
Palo n° 15 (Nodo 15): quota falda Zf=0.50 m								
10.00	29.00	--	0.00	--	1.70	1.80	Si	UnitÃ 1
20.00	32.00	--	0.00	--	1.80	1.90	Si	UnitÃ 2
Palo n° 11 (Nodo 11): quota falda Zf=0.50 m								
10.00	29.00	--	0.00	--	1.70	1.80	Si	UnitÃ 1
20.00	32.00	--	0.00	--	1.80	1.90	Si	UnitÃ 2
Palo n° 7 (Nodo 7): quota falda Zf=0.50 m								
10.00	29.00	--	0.00	--	1.70	1.80	Si	UnitÃ 1
20.00	32.00	--	0.00	--	1.80	1.90	Si	UnitÃ 2
Palo n° 8 (Nodo 8): quota falda Zf=0.50 m								
10.00	29.00	--	0.00	--	1.70	1.80	Si	UnitÃ 1
20.00	32.00	--	0.00	--	1.80	1.90	Si	UnitÃ 2
Palo n° 13 (Nodo 13): quota falda Zf=0.50 m								
10.00	29.00	--	0.00	--	1.70	1.80	Si	UnitÃ 1
20.00	32.00	--	0.00	--	1.80	1.90	Si	UnitÃ 2
Palo n° 1 (Nodo 16): quota falda Zf=0.50 m								
10.00	29.00	--	0.00	--	1.70	1.80	Si	UnitÃ 1
20.00	32.00	--	0.00	--	1.80	1.90	Si	UnitÃ 2
Palo n° 2 (Nodo 3): quota falda Zf=0.50 m								
10.00	29.00	--	0.00	--	1.70	1.80	Si	UnitÃ 1
20.00	32.00	--	0.00	--	1.80	1.90	Si	UnitÃ 2

Verifica Carico Verticale

$Nd=(P/\gamma b+S/\gamma s)*effV/\xi$ (per pali in trazione $\gamma s=\gamma st$ e P=0)

Palo	N	P	S	Peso Palo	(*)Nd	Nq	Nc	Verificato
	kg	kg	kg	kg	kg			

Palo	N	P	S	Peso Palo	(*)Nd	Nq	Nc	Verificato
15 (Nodo 15)[1]	56064	109531	165758	39270	150181	7.99	12.61	**SI**
15 (Nodo 15)[3]	51164	109531	165758	39270	150181	7.99	12.61	**SI**
11 (Nodo 11)[1]	57525	109531	165758	39270	150181	7.99	12.61	**SI**
7 (Nodo 7)[1]	57894	109531	165758	39270	150181	7.99	12.61	**SI**
8 (Nodo 8)[1]	59373	109531	165758	39270	150181	7.99	12.61	**SI**
13 (Nodo 13)[1]	58131	109531	165758	39270	150181	7.99	12.61	**SI**
13 (Nodo 13)[3]	52698	109531	165758	39270	150181	7.99	12.61	**SI**
1 (Nodo 16)[1]	56773	109531	165758	39270	150181	7.99	12.61	**SI**
1 (Nodo 16)[3]	50736	109531	165758	39270	150181	7.99	12.61	**SI**
2 (Nodo 3)[1]	59224	109531	165758	39270	150181	7.99	12.61	**SI**
2 (Nodo 3)[2]	51583	109531	165758	39270	150181	7.99	12.61	**SI**

Verifica Carico Orizzontale

Nd=(P/γb+S/γs)*effV/ξ (per pali in trazione γs=γst e P=0)

Palo	H	Hl	Hd	Meccanismo di rottura	Z0	Zmax	Mmax	Verificato
	kg	kg	kg		m	m	kg*m	
15 (Nodo 15)[1]	499	14444	7407	Lungo	--	1.62	97699.74	**SI**
15 (Nodo 15)[3]	535	14412	7391	Lungo	--	1.62	96252.82	**SI**
11 (Nodo 11)[1]	597	14525	7449	Lungo	--	1.63	98130.27	**SI**
7 (Nodo 7)[1]	507	14486	7429	Lungo	--	1.63	98238.43	**SI**
8 (Nodo 8)[1]	453	14641	7508	Lungo	--	1.64	98673.62	**SI**
13 (Nodo 13)[1]	472	14579	7477	Lungo	--	1.63	98307.40	**SI**
13 (Nodo 13)[3]	537	14541	7457	Lungo	--	1.63	96708.02	**SI**
1 (Nodo 16)[1]	368	14692	7534	Lungo	--	1.64	97908.72	**SI**
1 (Nodo 16)[3]	496	14446	7408	Lungo	--	1.62	96127.42	**SI**
2 (Nodo 3)[1]	150	14791	7585	Lungo	--	1.65	98629.85	**SI**
2 (Nodo 3)[2]	324	14481	7426	Lungo	--	1.62	96378.45	**SI**

13 VERIFICHE GEOTECNICHE – PLATEA

Modello per il calcolo del carico limite

Il terreno di fondazione è considerato costituito da due strati: uno superiore ed uno inferiore al piano di posa della fondazione. La presenza della falda è presa in considerazione in base alla sua profondità dal piano campagna. Per la verifica a carico limite si adotta l'approccio 2 con una unica combinazione di carico A1+M1+R3, in cui i coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze sono unitari ed il coefficiente di sicurezza

globale è pari a2.3 per il carico limite verticale e pari a 1.1 per il coefficiente di sicurezza a per il carico limite orizzontale.'effetto del sisma è portato in conto considerando una la forza statica orizzontale; poichè tale forza non è né centrata né verticale è necessario considerare fattori correttivi per l'inclinazione del carico e una riduzione delle dimensioni della fondazione, in funzione dell'eccentricità. Di seguito si riporta il calcolo per le combinazioni più gravose; in calce è riportato un riepilogo per tutte le combinazioni.

Carico limite

Il calcolo del carico limite è valutato secondo la formula di Terzaghi-Meyerof

$$Q_{lim} = q \cdot N_q \cdot \zeta_q \cdot \xi_q \cdot \alpha_q \cdot \beta_q \cdot \psi_q \cdot z_q + c \cdot N_c \cdot \zeta_c \cdot \xi_c \cdot \alpha_c \cdot \beta_c \cdot \psi_c \cdot z_c + \gamma \cdot N_\gamma \cdot \frac{B}{2} \cdot \zeta_\gamma \cdot \xi_\gamma \cdot \alpha_\gamma \cdot \beta_\gamma \cdot \psi_\gamma \cdot z_\gamma$$

dove:

N_q, N_c, N_γ	Coefficienti di Terzaghi - Meyerof per la striscia indefinita
ζ_q, ζ_c, ζ_γ	Coefficienti correttivi di forma, funzione del rapporto B/L
ξ_q, ξ_c, ξ_γ	Coefficienti correttivi di inclinazione del carico, dipendenti da H/V
α_q, α_c, α_γ	Coefficienti correttivi di inclinazione del piano di posa
β_q, β_c, β_γ	Coefficienti correttivi di inclinazione del piano campagna
Z_q, Z_c, Z_γ	Coefficienti sismici per considerare l'effetto cinematico, considerati solo in presenza di sisma
ψ_q, ψ_c, ψ_γ	Coefficienti correttivi di punzonamento dipendenti da un indice di rigidezza del terreno.

Le espressioni dei coefficienti correttivi sono riportate di seguito.

- Coefficienti di forma

$$\zeta_q = 1 + \frac{B}{L} tg(\phi) \qquad \zeta_c = 1 + \frac{B}{L}\frac{N_q}{N_c} \qquad \zeta_\gamma = 1 - 0.4\frac{B}{L}$$

- Coefficienti di inclinazione del carico

$$\xi_q = \left[1 - \frac{Htg(\phi)}{Vtg(\phi) + BLc}\right]^m \quad \xi_c = \xi_q - \frac{1-\xi_q}{N_c tg(\phi)} \quad \xi_\gamma = \left[1 - \frac{Htg(\phi)}{Vtg(\phi) + BLc}\right]^{m+1}$$

essendo

$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

- Coefficienti correttivi di inclinazione del piano di posa

$$\alpha_q = \left(1 - \epsilon tg(\phi)\right)^2 \qquad \alpha_c = \alpha_q - \frac{1 - \alpha_q}{N_c tg(\phi)} \qquad \alpha_\gamma = \alpha_q$$

con

$$\epsilon < \pi/4$$

- Coefficienti correttivi di inclinazione del piano campagna

$$\beta_q = \left(1 - tg(\omega)\right)^2 cos(\phi) \qquad \beta_c = \beta_\gamma - \frac{q - \beta_\gamma}{N_c tg(\phi)} \qquad \beta_\gamma = \frac{\beta_q}{cos(\omega)}$$

con

$$\omega < \pi/4;\ \omega < \phi$$

- Coefficienti di punzonamento

$$\psi_q = \left(\left(0.6\frac{B}{L} - 4.4\right)tg(\phi) + \frac{3.07 sin(\phi) log_{10}(2I_r)}{1 + sin(\phi)}\right)$$

$$\psi_c = \psi_q - \frac{1 - \psi_q}{N_q tg(\phi)} \ \ se \ \ \phi \neq 0$$

$$\psi_c = 0.32 + 0.12\frac{B}{L} + 0.6 log_{10}(I_r) \ \ se \ \ \phi = 0$$

$$\psi_\gamma = \psi_q$$

- Coefficienti sismici

$$zq = zc = 1 \qquad zg = \left(1 - \frac{kh}{tg(\phi)}\right)^{0.45}$$

con

$$kh = \beta \frac{a_{max}}{g} \text{ (cfr. } NT - 7.11.3)$$

Detto Ir l'indice di rigidezza del terreno (secondo la teoria di Vesic dipendente dal modulo tangenziale $G=0.5 \cdot E/(1+\nu)$ del terreno, dalla coesione c, dalla tensione effettiva alla profondità B/2 sotto il piano di posa e dall'angolo di attrito del terreno di fondazione) ed Ircrit l'indice di rigidezza critico (dipendente dall' angolo di attrito del terreno e dal rapporto B/L), i coefficienti di punzonamento sono uguali alla unità quando Ir>=Ircrit, mentre sono minori dell' unità quando Ir<Ircrit.

Oltre a queste correzioni un'altra deriva dall'eccentricità del carico e consiste nel ridurre le dimensioni della fondazione in modo che il carico risulti centrato rispetto alla fondazione ridotta; dette e_b ed e_l le eccentrità del carico nella direzione di B ed L, il carico limite si calcola per una fondazione di dimensioni ridotte $B' = B-2e_b$ e $L' = L-2e_l$.

Altra correzione deriva dalla presenza della falda inserendo i pesi del terreno immerso nel primo e terzo termine dell'espressione del carico limite, in particolare, detta Hf la profondità della falda e D la profondità del piano di posa, si assume che quando:

Hf≤D	si valuta la pressione effettiva sul piano di posa considerando che parte del terreno superiore è immerso, mentre nel terzo termine si userà il peso immerso;
D<Hf≤D+B	il peso del terreno del terzo termine si interpola tra i valori immerso e secco secondo la formula: $\gamma^* = \gamma'' + (\gamma - \gamma'')\ D/B$;
D+B<HF	la falda è trascurata.

I coefficienti di Terzaghi - Meyerof per la striscia ed i coefficienti correttivi sono dati dalle relazioni:

$$N_q = \frac{1 + sin(\phi)}{1 - sin(\phi)} e^{\pi tan(\phi)} \quad N_c = (N_q - 1)\, cot(\phi)$$

I valori del coefficiente N_γ sono riportati nella tabella seguente in funzione dell'angolo di attrito del terreno.

$\phi°$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
N_γ	0	0.07	0.15	0.24	0.34	0.45	0.57	0.71	0.86
$\phi°$	9	10	11	12	13	14	15	16	17
N_γ	1.03	1.22	1.44	1.69	1.97	2.29	2.65	3.06	3.53
$\phi°$	18	19	20	21	22	23	24	25	26
N_γ	4.07	4.68	5.39	6.2	7.13	8.2	9.44	10.88	12.54
$\phi°$	27	28	29	30	31	32	33	34	35

N_γ	14.47	16.72	19.34	22.4	25.99	30.22	35.19	41.06	48.03
$\phi°$	36	37	38	39	40	41	42	43	44
N_γ	56.31	66.19	78.03	92.25	109.41	130.22	155.55	186.54	224.64
$\phi°$	45	46	47	48	49	50	-	-	-
N_γ	271.76	330.75	403.67	496.01	613.16	762.89	-	-	-

Simbologia carico limite fondazione rettangolare:

B Base

L Lunghezza

eb Eccentricità secondo B

el Eccentricità secondo L

D Profondità del piano di posa

Fv Componente ortogonale dell'azione sulla fondazione

Fh Componente tangenziale dell'azione sulla fondazione

ε Inclinazione del piano di posa

ω Inclinazione del piano campagna

ϕ Angolo di attrito del terreno di fondazione

c Coesione del terreno di fondazione

G Modulo tangenziale del terreno di fondazione

γ_1 Peso specifico terreno superiore

γ Peso specifico terreno di fondazione

γ_{1Sat} Peso specifico terreno saturo superiore

γ_{Sat} Peso specifico terreno saturo di fondazione

Hf Profondità della falda

W0 Peso specifico acqua

Modello terreno per il calcolo dei cedimenti per terreno incoerente

Il terreno è modellato come sequenza di strati di tipo incoerente (terreni ad elevata permeabilità). Per i terreni incoerenti non è possibile prelevare campioni intatti; per la valutazione dei parametri meccanici occorre riferirsi a prove in sito quali CPT ed SPT e quindi far uso di correlazioni empiriche per la loro valutazione. Per tali terreni, quindi, i metodi per la valutazione dei cedimenti sono empirici o semi-empirici.

Simbologia terreno incoerente: Metodo di Terzaghi e Peck

H Spessore dello strato

Df Profondità della fondazione rispetto allo scavo del cassone della struttura

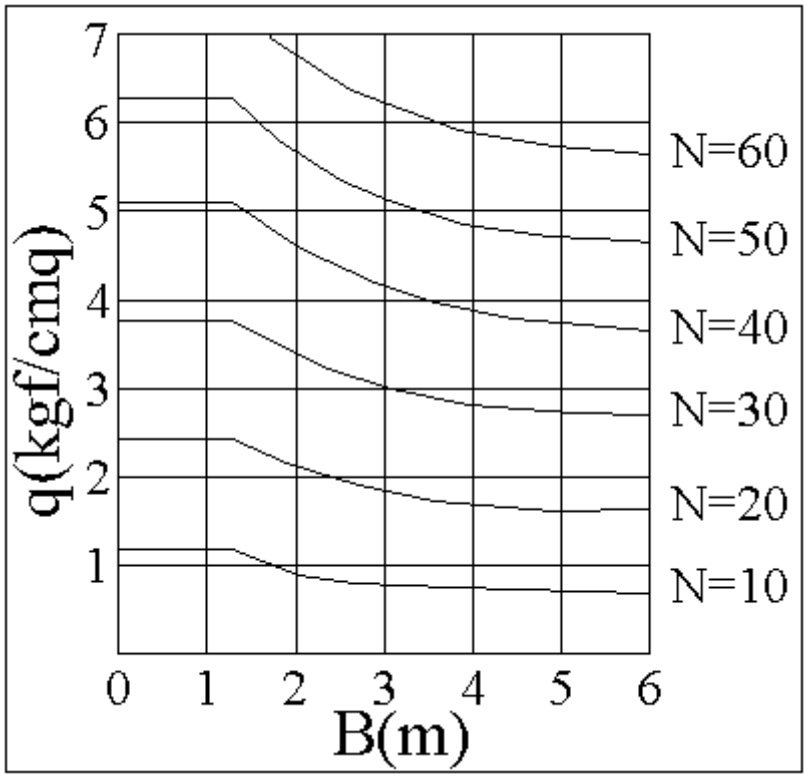
γ Peso specifico del terreno dello strato

γ_{Sat} Peso specifico del terreno saturo dello strato

N_{SPT} Numero di colpi Standard Penetration Test

F.Fine Indica se la frazione fina è rilevante, quando lo strato si trova sotto falda il numero di colpi deve essere corretto

Il cedimento é calcolato con il metodo di Terzaghi e Peck, in base a prove SPT. Gli A.A. propongono un abaco in funzione di B, base della fondazione ed N, numero di colpi, in cui forniscono il carico q che provoca un cedimento di 2.5 cm, assumendo che tale valore fosse un cedimento accettabile. Il metodo nasce come metodo di verifica, in seguito il metodo è stato usato per il calcolo dei cedimenti istituendo una proporzionalità diretta tra q e w secondo la relazione $w(cm)=2.5 * q/q_{abaco}$.



Il valore di N da introdurre è quello compreso tra le profondità D e D+B e va corretto in presenza di sabbie fini e/o limose sotto falda per tener conto del fittizio aumento di resistenza per l'insorgere di sovrappressioni neutre durante l'infissione dello strumento di prova.

La correzione da apportare è data da: N'= 15 + 0.5*(N-15) solo se N>15.

Il valore del carico che si legge sull'abaco va corretto in base alla profondità della falda e della profondità del piano di posa.

Per Hf = D q_{abaco} va dimezzato.

Per Hf>= D+B q_{abaco} è intero.

Per D < Hf < D+B si interpola linearmente.

Al valore così calcolato si applica un coefficiente di profondità dato dalla relazione C_D=(1-0.25*D/B) per 0< D <

B, C_D=1 per D > B.

Verifiche Platea di fondazione

Platea 1-1

Dati della fondazione rettangolare

La profondità della falda è Hf=0.50 m e il peso specifico dell'acqua é W0=1.00 t/mc.

Base B	4.67 m
Lunghezza L	10.00 m
Eccentricità eb	0.05 m
Eccentricità el	0.16 m
Forza Fv	146130 kg
Forza Fh	35705 kg

Parametri geotecnici

D	ε	ω	ϕ	c	G	γ_1	γ	γ_{1Sat}	γ_{Sat}
m	°	°	°	kg/cmq	kg/cmq	t/mc	t/mc	t/mc	t/mc
0.80	0.00	0.00	29.00	0.00	24.08	1.70	1.90	1.70	1.90

Carico limite

La fondazione data è equivalente a una fondazione rettangolare di dimensioni B=4.58 m ed L=9.69 m. Si riportano di seguito i coefficienti correttivi.

N_q	N_c	N_γ
16.443	27.860	19.340
α_q	α_c	α_γ
1.000	1.000	1.000
β_q	β_c	β_γ
1.000	1.000	1.000
ξ_q	ξ_c	ξ_γ
0.625	0.600	0.472
ψ_q	ψ_c	ψ_γ
1.000	1.000	1.000
ζ_q	ζ_c	ζ_γ

1.262	1.279	0.811
zq	zc	zg
1.000	1.000	1.000
N'_q	N'_c	N'_γ
12.962	21.391	7.405

Di seguito si riporta una sintesi dei valori utilizzati per effettuare la verifica della fondazione.

Indice di rigidezza critico Ir_{crit}	94.476
Indice di rigidezza Ir	139.268
Azione verticale sollecitante V	146130 kg
Azione orizzontale sollecitante H	35705 kg
Eccentricità lungo B eb	0.05 m
Eccentricità lungo L el	0.16 m
Carico limite verticale di calcolo Q_{lim}	2.90 kg/cmq
Carico limite verticale di progetto Qd	1.26 kg/cmq
Coefficiente di sicurezza γ_v	2.300

Carico limite orizzontale di calcolo H_{lim}	81001 kg
Carico limite orizzontale di progetto Hd	73638 kg
Coefficiente di sicurezza γ_h	1.100
V=146130 kg ≤ Vd=558716 kg	**VERIFICATO**
H=35705 kg ≤ Hd=73638 kg	**VERIFICATO**

N°	H	γ	γ_{Sat}	N_{SPT}	F.Fine
	m	t/mc	t/mc		
1	10.00	1.70	1.80	14	No
2	10.00	1.80	1.90	37	No

Si riportano di seguito i risultati ottenuti.

Profondità fondazione Df	0.80 m
Carico totale q_{tot}	0.31 kg/cmq
Valore medio di N_{SPT}	14.000
Valore di q(2.5 cm)	1.08911 kg/cmq
Valore di q(2.5 cm) ridotto	0.5212 kg/cmq
CD	0.957
CW	0.500

Cedimento W 15 mm

Platea 1-2

Dati della fondazione rettangolare

La profondità della falda è Hf=0.50 m e il peso specifico dell'acqua é W0=1.00 t/mc.

Base B 4.67 m

Lunghezza L 10.00 m

Eccentricità eb 0.04 m

Eccentricità el 0.27 m

Forza Fv 108914 kg

Forza Fh 10957 kg

Parametri geotecnici

D	ε	ω	ϕ	c	G	γ_1	γ	γ_{1Sat}	γ_{Sat}
m	°	°	°	kg/cmq	kg/cmq	t/mc	t/mc	t/mc	t/mc
0.80	0.00	0.00	29.00	0.00	24.08	1.70	1.90	1.70	1.90

Carico limite

La fondazione data è equivalente a una fondazione rettangolare di dimensioni B=4.60 m ed L=9.47 m. Si riportano di seguito i coefficienti correttivi.

N_q	N_c	N_γ
16.443	27.860	19.340
α_q	α_c	α_γ
1.000	1.000	1.000
β_q	β_c	β_γ
1.000	1.000	1.000
ξ_q	ξ_c	ξ_γ
0.837	0.827	0.753
ψ_q	ψ_c	ψ_γ
1.000	1.000	1.000
ζ_q	ζ_c	ζ_γ
1.269	1.287	0.806
zq	zc	zg
1.000	1.000	1.000
N'_q	N'_c	N'_γ
17.478	29.643	11.737

Di seguito si riporta una sintesi dei valori utilizzati per effettuare la verifica della fondazione.

Indice di rigidezza critico Ir_{crit}	93.509
Indice di rigidezza Ir	138.808
Azione verticale sollecitante V	108914 kg
Azione orizzontale sollecitante H	10957 kg
Eccentricità lungo B eb	0.04 m
Eccentricità lungo L el	0.27 m
Carico limite verticale di calcolo Q_{lim}	4.28 kg/cmq
Carico limite verticale di progetto Qd	1.86 kg/cmq
Coefficiente di sicurezza γ_v	2.300

Carico limite orizzontale di calcolo H_{lim}	60372 kg
Carico limite orizzontale di progetto Hd	54884 kg
Coefficiente di sicurezza γ_h	1.100
V=108914 kg ≤ Vd=810414 kg	**VERIFICATO**
H=10957 kg ≤ Hd=54884 kg	**VERIFICATO**

N°	H	γ	γ_{Sat}	N_{SPT}	F.Fine
	m	t/mc	t/mc		
1	10.00	1.70	1.80	14	No
2	10.00	1.80	1.90	37	No

Si riportano di seguito i risultati ottenuti.

Profondità fondazione Df	0.80 m
Carico totale q_{tot}	0.23 kg/cmq
Valore medio di N_{SPT}	14.000
Valore di q(2.5 cm)	1.08911 kg/cmq
Valore di q(2.5 cm) ridotto	0.5212 kg/cmq
CD	0.957
CW	0.500
Cedimento W	11 mm

Platea 1-3

Dati della fondazione rettangolare

La profondità della falda è Hf=0.50 m e il peso specifico dell'acqua é W0=1.00 t/mc.

Base B	4.67 m
Lunghezza L	10.00 m
Eccentricità eb	0.02 m
Eccentricità el	0.46 m
Forza Fv	112529 kg
Forza Fh	14521 kg

Parametri geotecnici

D	ε	ω	ϕ	c	G	γ_1	γ	γ_{1Sat}	γ_{Sat}
m	°	°	°	kg/cmq	kg/cmq	t/mc	t/mc	t/mc	t/mc
0.80	0.00	0.00	29.00	0.00	24.08	1.70	1.90	1.70	1.90

Carico limite

La fondazione data è equivalente a una fondazione rettangolare di dimensioni B=4.62 m ed L=9.08 m. Si riportano di seguito i coefficienti correttivi.

N_q	N_c	N_γ
16.443	27.860	19.340
α_q	α_c	α_γ
1.000	1.000	1.000
β_q	β_c	β_γ
1.000	1.000	1.000
ξ_q	ξ_c	ξ_γ
0.795	0.781	0.692
ψ_q	ψ_c	ψ_γ
1.000	1.000	1.000
ζ_q	ζ_c	ζ_γ
1.282	1.300	0.796
zq	zc	zg
1.000	1.000	1.000
N'_q	N'_c	N'_γ
16.755	28.312	10.662

Di seguito si riporta una sintesi dei valori utilizzati per effettuare la verifica della fondazione.

Indice di rigidezza critico Ir_{crit} 91.867

Indice di rigidezza Ir	138.372
Azione verticale sollecitante V	112529 kg
Azione orizzontale sollecitante H	14521 kg
Eccentricità lungo B eb	0.02 m
Eccentricità lungo L el	0.46 m
Carico limite verticale di calcolo Q_{lim}	3.99 kg/cmq
Carico limite verticale di progetto Qd	1.74 kg/cmq
Coefficiente di sicurezza γ_v	2.300

Carico limite orizzontale di calcolo H_{lim}	62376 kg
Carico limite orizzontale di progetto Hd	56705 kg
Coefficiente di sicurezza γ_h	1.100
V=112529 kg ≤ Vd=728274 kg	**VERIFICATO**
H=14521 kg ≤ Hd=56705 kg	**VERIFICATO**

N°	H	γ	γ_{Sat}	N_{SPT}	F.Fine
	m	t/mc	t/mc		
1	10.00	1.70	1.80	14	No
2	10.00	1.80	1.90	37	No

Si riportano di seguito i risultati ottenuti.

Profondità fondazione Df	0.80 m
Carico totale q_{tot}	0.24 kg/cmq
Valore medio di N_{SPT}	14.000
Valore di q(2.5 cm)	1.08911 kg/cmq
Valore di q(2.5 cm) ridotto	0.5212 kg/cmq
CD	0.957
CW	0.500
Cedimento W	12 mm

Riepilogo risultati del calcolo

Elm.	Combinazione	V	Vd	CsV (>2.30)	H	Hd	CsH (>1.10)	Qd	qe	W
		kg	kg		kg	kg		kg/cmq	kg/cmq	mm
1	1	146130	558716	8.79	35705	73638	2.27	1.26	0.31	15
	2	108914	810414	17.11	10957	54884	5.51	1.86	0.23	11
	3	112529	728274	14.89	14521	56705	4.30	1.74	0.24	12
Minimi coeff. sic.										
1	1			8.79						
1	1						2.27			

Wmax=15 mm

Wmin=11 mm

Verifica a scorrimento globale delle fondazione

Combinazione	Combinazione di verifica
N	Sforzo normale
Hd	Azione orizzontale depurata dalle azioni assorbite da pali e plinti su pali
R	Resistenza allo scorrimento R=A*c+N*tg(ϕ)
CS	R/Hd
CSd	Coefficiente di sicurezza di progetto

Area delle strutture di fondazione a contatto con il terreno **A=72.5123 m²**

Combinazione	N	Hd	R	CS.	CSd	ver
	kg	kg	kg			
1	227359	35705	126027	3.53	1.10	Si
2	169270	10957	93828	8.56	1.10	Si
3	174967	14521	96986	6.68	1.10	Si

14 VALIDAZIONE DEI PROGRAMMI DI CALCOLO

14.1 Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di più codici di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

14.2 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

- **IPERSPACE MAX 3.0.1 - programma di calcolo ad elementi finiti**

14.3 Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo dei software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dai produttori dei software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. L'affidabilità e la robustezza dei codici di calcolo sono garantite attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

14.4 Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

14.5 Informazioni generali sull'elaborazione

I software prevedono una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Informazioni dell'elaborazione

Il calcolo automatico è stato eseguito su un elaboratore con le seguenti caratteristiche:

Tipo:	GenuineIntel - 13th Gen Intel(R) Core(TM) i7-13700
Capacità di memoria:	16072 MB
Unità di memoria di massa:	Disco C 473.91 GB
Unità periferiche:	
Sistema operativo e sua versione:	Windows 10 (Build :22631)

La valutazione sulla correttezza dei dati in ingresso e sulla accuratezza dei risultati è stata effettuata sia mediante le visualizzazioni grafiche del post processore sia mediante il controllo dei tabulati numerici. La verifica che la soluzione ottenuta non sia viziata da errori di tipo numerico, legati all'algoritmo risolutivo ed alle caratteristiche dell'elaboratore, è stata effettuata considerando che il

numero di cifre significative utilizzate nei procedimenti numerici è 16, e che all'interno della matrice di rigidezza il rapporto tra il pivot massimo e minimo è: 2.828328e+03. Tale valore è accettabile quando risulta minore di 10 elevato al numero di cifre significative. Nel caso dell'elaborazione in oggetto si ha:

$$Max/Min=2.828328e+03<1.000000e+16$$

Risultati Analisi Statica - Statistiche matrice di rigidezza

Scenario di calcolo: Set_NT_ 2018 A2_SLV_SLD_STR_GEO

Minimo della diagonale	4.624882e+06
Massimo della diagonale	1.308068e+10
Rapporto Max/Min	2.828328e+03
Media della diagonale	2.707419e+09
Densità	2.040480e+01

Pertanto i risultati si ritengono accettabili per quanto riguarda la correttezza del calcolo automatico.

14.6 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente dei software. Sono stati effettuati controlli e verifiche sull'equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificate. Per ogni elemento strutturale sono riportate le sollecitazioni dimensionanti e le verifiche strutturali eseguite, sia in forma estesa che sintetica. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.